



**USAID**  
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS  
UNIDOS DE AMÉRICA

**CATIE**  
Solutions for environment and development  
Soluciones para el ambiente y desarrollo

## Programa Regional de Cambio Climático de USAID

# Priorización de paisajes

para fomentar sinergias entre adaptación y mitigación al cambio climático en áreas funcionales para la conservación de la biodiversidad

Bernal Herrera  
Carolina Piedrahita  
Oscar Chacon  
Lindsay Canet



En coordinación con

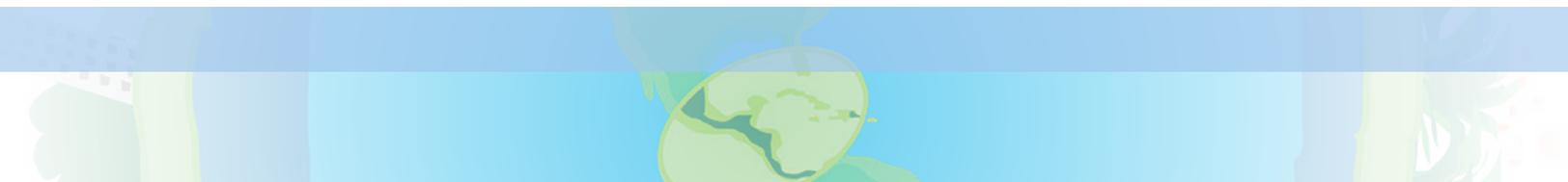


# **Priorización de paisajes**

para fomentar sinergias entre adaptación  
y mitigación al cambio climático en áreas  
funcionales para la conservación de la  
biodiversidad

Bernal Herrera  
Carolina Piedrahita  
Oscar Chacon  
Lindsay Canet

Turrialba, Costa Rica  
Agosto, 2016



CATIE no asume la responsabilidad por las opiniones y afirmaciones expresadas por los autores en las páginas de este documento. Las ideas de los autores no reflejan necesariamente el punto de vista de la institución. Se autoriza la reproducción parcial total de la información contenida en este documento, siempre y cuando se cite la fuente.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 2016

**ISBN 978-9977-57-664-0**

**<http://hdl.handle.net/11554/8464>**

333.72

P958 Priorización de paisajes para fomentar sinergias entre adaptación y mitigación al cambio climático en áreas funcionales para la conservación de la biodiversidad / Bernal Herrera...[et al.]. – 1º ed. – Turrialba, C.R : CATIE, 2016.  
46 p. : il. – (Serie técnica. Informe técnico / CATIE ; no.406)

ISBN 978-9977-57-664-0

<http://hdl.handle.net/11554/8464>

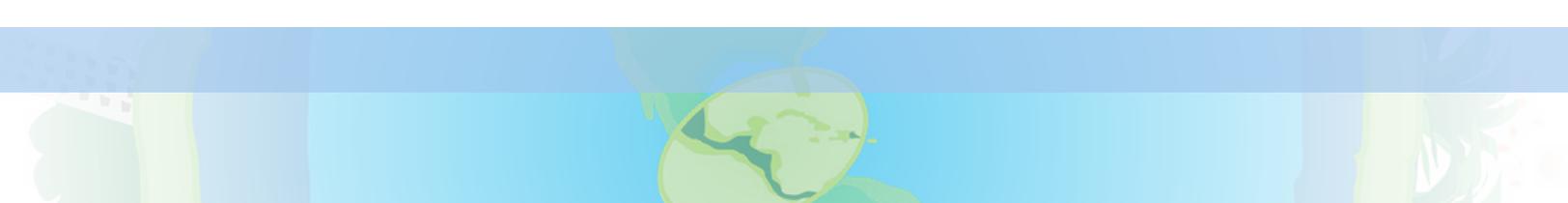
1. Cambio climático - Mitigación 2. Cambio climático – Adaptación 3. Cambio climático – Conservación de la diversidad biológica I. Herrera, Bernal II. Piedrahita, Carolina III. Chacón, Oscar IV. Canet, Lindsay V. CATIE VI. Título VII. Serie

**Citar como:** Herrera, F. B.; Piedrahita, C; Chacón, O. y Canet, L. 2016. Priorización de paisajes para fomentar sinergias entre adaptación y mitigación al cambio climático en áreas funcionales para la conservación de la biodiversidad. Programa Regional de Cambio Climático. Informe de Consultoría. Turrialba, Costa Rica, CATIE-USAID. 59 p.

## **Créditos**

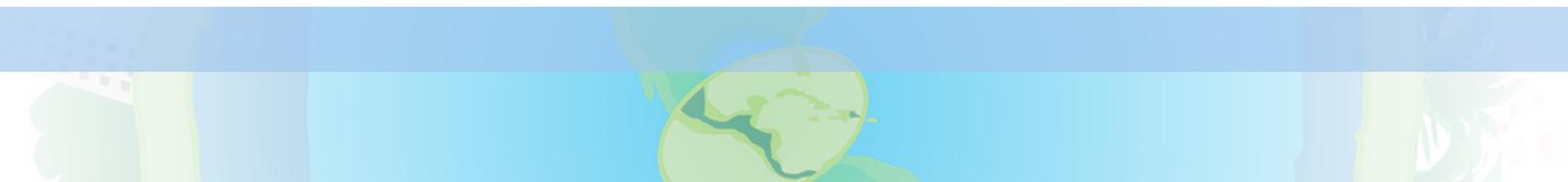
### **Diagramación**

Rocío Jiménez, Oficina de Comunicación e Incidencia, CATIE



# Contenido

<b>Agradecimientos</b> .....	5
<b>Introducción</b> .....	6
1.1. El desafío de la biodiversidad ante el cambio climático .....	6
1.2. Necesidad de enfoques que maximicen los beneficios de las estrategias ante el cambio climático .....	7
<b>Sinergias entre la adaptación y la mitigación de los cambios asociados con el clima</b> .....	9
2.1. Estrategias para enfrentar el cambio climático: la mitigación y la adaptación .....	9
2.1.1. La mitigación del cambio climático .....	9
2.1.2. La adaptación al cambio climático .....	10
2.2. Sinergias entre mitigación y adaptación: aspectos conceptuales y prácticos .....	13
2.3. Barreras a la identificación de sinergias entre adaptación y mitigación .....	18
2.4. Áreas funcionales para la conservación de la biodiversidad y su contribución a la promoción de sinergias entre mitigación y adaptación .....	18
2.5. REDD+ y las áreas funcionales para la conservación de la biodiversidad .....	20
<b>Priorización de áreas para la conservación de la biodiversidad para promover sinergias entre la adaptación y mitigación</b> .....	23
3.1. Aproximación metodológica para la priorización espacial .....	23
3.2. Pasos para la priorización de paisajes integrando sinergias entre adaptación y mitigación para la conservación de la biodiversidad .....	24
Paso 1. Identificación del contenido de carbono en la biomasa .....	25
Paso 2. Patrones espaciales de la deforestación y la degradación de bosques .....	26
Paso 3. Análisis de amenazas antrópicas .....	27
Paso 4. Identificación de sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad .....	29
Paso 5. Identificación de variables para representar la biodiversidad .....	29
Paso 6. Identificación de variables para la representación y modelaje de la conectividad estructural .....	32
Paso 7. Análisis de impactos del cambio climático en la biodiversidad .....	34
Paso 8. Identificación de variables que facilitan la adaptación al cambio climático .....	34
Paso 9. Optimización espacial para la priorización del paisaje y lograr la adaptación de la biodiversidad y la mitigación al cambio climático .....	37
Paso 10. Definición de los límites del AFC .....	39
<b>Consideraciones finales</b> .....	40
<b>Literatura citada</b> .....	42



## Agradecimientos

Un agradecimiento a Claudia Vallejo (CATIE), Olivier Chassot (Centro Científico Tropical) y Miguel Cifuentes (CATIE) por sus observaciones al documento.

Este documento es parte de los resultados de la implementación del Programa Regional de Cambio Climático, ejecutado y financiado por el Gobierno de los Estados Unidos de América a través del USAID.

# Introducción

## 1.1. El desafío de la biodiversidad ante el cambio climático

El cambio climático puede ser considerado como la modificación de los valores promedio del clima, o bien, de la variabilidad de las propiedades del clima. Tal modificación se mantiene por largos períodos y puede ser el resultado de procesos naturales o de la actividad humana (IPCC 2007). Según la CMNUCC (1992), este fenómeno se entiende como la alteración en la composición de la atmósfera mundial por efecto de la actividad humana.

El cambio climático está asociado a un proceso natural que regula la temperatura, de manera que se mantenga dentro de un rango adecuado para la vida en el planeta. El clima, además, varía de forma natural por factores como los movimientos planetarios, la radiación solar, las erupciones volcánicas, el fenómeno del Niño y de la Niña (Cifuentes 2010). Si bien se trata de fenómenos naturales, desde la revolución industrial, el contenido de dióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado un 31% a causa de la combustión de energías fósiles y la deforestación (Karl y Trenberth 2005). Este incremento se asocia también con un aumento del 70% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI) desde la era preindustrial; en especial el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cual acelera el efecto invernadero y, por ende, el calentamiento global (IPCC 2007).

Los ecosistemas a lo largo de la historia han sufrido cambios en su estructura y composición, así como pérdidas en la riqueza de especies debido a la variación climática. Es evidente, entonces, que dicha variación provoca impactos significativos en la biodiversidad (IPCC 2001, Bergkamp et al. 2003). Entre los principales impactos esperados del cambio climático están:

- Los hábitats óptimos para muchas especies se desplazarán a mayores elevaciones o mayores latitudes (Hopkings et al. 2007).
- La distribución de especies cambiará y se reducirá el rango geográfico (Dudley y Stolton 2003, Parmesan 2005).
- En la medida en que las temperaturas varíen y los hábitats de las especies se desplacen, algunas poblaciones se reducirán hasta su extinción. En los lugares donde el desplazamiento altitudinal no es posible, o donde los cambios están ocurriendo muy rápidamente, las especies no lograrán adaptarse. En consecuencia, se producirán pérdidas locales o la extinción global de especies (Hopkings et al. 2007).
- La distribución, fenología (ciclo de vida), fisiología, uso del hábitat y tasas de extinción de especies individuales se verán afectadas. Como resultado, se darán cambios en la composición de las comunidades vegetales y animales y en los ecosistemas (NRMCC 2004, Hopkings et al. 2007).
- La diversidad genética se reducirá debido a la selección direccional y la rápida migración (Bellard et al. 2012).

- El ciclo de vida de las especies y el calendario de eventos estacionales se modificará y, en consecuencia, se perderá la sincronía entre la disponibilidad de alimentos y otros recursos de los que dependen las especie (NRMMC 2004, Hopkins et al. 2007).
- Las dinámicas de población y supervivencia variarán (NRMMC 2004).
- El riesgo de extinción de especies vulnerables aumentará. Las especies con rangos climáticos limitados y de hábitats específicos verán reducida su capacidad de dispersión. Asimismo, las poblaciones pequeñas o con baja diversidad genética serán más vulnerables a la extinción (NRMMC 2004).
- El rango de expansión de especies invasoras aumentará. Las especies nativas que se encuentren bajo estrés climático serán más susceptibles a la invasión y otras perturbaciones (NRMMC 2004).

No todas las especies responden de la misma manera a los efectos del cambio en el clima; aquellas que cuenten con capacidades intrínsecas serán las que logren adaptarse a las nuevas condiciones (Biringier et al. 2005). Otras especies tendrán que desplazarse hacia nuevas regiones para mantenerse con vida, en tanto que otras más no tendrán la capacidad de adaptarse ni de desplazarse debido a requerimientos muy específicos (distribución restringida, bajas tasas reproductivas, poblaciones reducidas), lo que las puede llevar a su extinción (IPCC 2001, Parmesan 2005). Es de esperar que la desaparición de especies genere cambios en los procesos ecológicos y en los servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano (Ranganathan et al. 2008, Lange et al. 2010).

A pesar de que se reconocen los impactos del cambio del climático en la biodiversidad, aún existe incertidumbre en cuanto al grado de severidad y alcance y su relación con la estructura y funcionamiento del ecosistema, y en cuanto a la capacidad de dispersión y migración de las especies a través del paisaje (IPCC 2001). Además, la biodiversidad no solo se ve afectada por los efectos del cambio climático sino también por diversas amenazas o factores de estrés que ejercen presión sobre las especies y causan pérdida de biodiversidad. Entre estas amenazas se encuentran la fragmentación del hábitat, los cambios de uso del suelo, la degradación de los ecosistemas, la

contaminación de los recursos naturales, los incendios forestales, la introducción de especies exóticas, el crecimiento acelerado de la industria, el crecimiento no planificado de los asentamientos humanos. En muchas ocasiones son estos factores, y no el cambio climático, los que tienen mayor influencia en la pérdida de especies (Füssel 2007, Williamson 2012).

Así, las sinergias entre el cambio climático y otros factores de estrés son de vital importancia para los sistemas naturales, puesto que el impacto múltiple de diferentes factores de estrés es mayor que la suma simple de los efectos individuales. La pérdida de la biodiversidad y la degradación de los medios de vida puede ser aún mayor con el factor del cambio climático (Drake et al. 2005). Para el caso de la biodiversidad, la pérdida de hábitat, su fragmentación y la invasión de especies serán las grandes amenazas que, al interactuar con el cambio climático, causarán los mayores impactos negativos (Drake et al. 2005, Lovejoy 2005).

Sin embargo, aún es difícil dimensionar y cuantificar los alcances de la interacción entre las amenazas no climáticas y el cambio climático en cuanto a la biodiversidad y el bienestar humano. Por esto, es necesario implementar estrategias de conservación dinámicas y bien coordinadas que ayuden a obtener una respuesta más apropiada de conservación de la biodiversidad (Lovejoy 2005).

## 1.2 Necesidad de enfoques que maximicen los beneficios de las estrategias ante el cambio climático

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) reconoce, en su cuarto informe, que una de las estrategias para enfrentar los impactos del cambio climático es la adaptación, como complemento a las acciones de mitigación (IPCC 2007). Además, la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, celebrada en París en diciembre 2015, insta al desarrollo y ejecución de políticas para la implementación de estrategias conjuntas entre adaptación y mitigación para el manejo integral de los bosques (Leonard et al. 2016).

Tanto la mitigación como la adaptación permiten hacerle frente a los impactos del cambio climático. Ambas buscan reducir la vulnerabilidad y, por lo tanto, el riesgo asociado al cambio climático (Berry 2008a, Klein et al. 2005). Si bien se trata de enfoques interrelacionados (Locatelli et al. 2011), deben reconocerse diferencias marcadas en cuanto a objetivos, escalas espaciales y temporales y sectores de aplicación (Klein et al. 2005, Tol 2005, Parry et al. 2007).

La mayoría de los esfuerzos de respuesta al cambio climático se han enfocado en el diseño e implementación de medidas de mitigación, en lugar de acciones de adaptación (Füssel 2007, Pielke et al. 2007, Verchot et al. 2007). Sin embargo, la mitigación y la adaptación pueden ser complementarias pues la primera busca reducir la probabilidad del riesgo (exposición) mientras que la segunda busca reducir el impacto (sensibilidad) (Wilbanks et al. 2003, Yohe y Strzepek 2007). La integración de la adaptación y la mitigación podría generar una mejor canalización de recursos a nivel institucional y, a la vez, un enfoque ‘ganar-ganar’. Este enfoque de sinergias podría aumentar la relevancia de la mitigación en los países en desarrollo –los más vulnerables al cambio climático– y contribuiría a borrar la percepción de que la mitigación es un problema de los países desarrollados (Ayers y Huq 2009).

Los bosques tropicales son clave para la conservación de la biodiversidad y el carbono. Con una cobertura entre el 7-10% de la superficie del planeta, almacenan el 25% del carbono terrestre en la biomasa y a su vez, albergan más del 95% de las especies de árboles a nivel global (Poorter et al. 2015). Esto implica que desde el punto de vista de las iniciativas globales para la reducción de la deforestación y la degradación de los bosques (p.e. estrategias REDD<sup>+</sup>), la conservación y el manejo de la biodiversidad representan una sinergia positiva por naturaleza, al ser la biodiversidad clave para el funcionamiento de los ecosistemas (Poorter et al. 2015).

Los cambios en el clima generan importantes impactos en la biodiversidad tropical (Lovejoy y Hanna 2005). Puesto que la biodiversidad se asocia con la provisión de servicios ecosistémicos críticos para el desarrollo humano sostenible (Heller y Zavaleta 2009), es imperativo diseñar y ajustar estrategias que aseguren el mantenimiento de la biodiversidad y los procesos que la sustentan (Andrade-Pérez et al. 2010). La biodiversidad por sí misma también representa oportunidades para la adaptación humana al cambio climático. Por ejemplo, los ecosistemas protegidos en los sistemas de conservación a nivel nacional pueden contribuir a la reducción de riesgos antes eventos climáticos extremos.

*El presente documento ofrece un marco conceptual que vincula la adaptación y la mitigación desde la perspectiva de la conservación de la biodiversidad. Además, se detallan los pasos metodológicos necesarios para la priorización de paisajes cuyos objetivos están dirigidos a mantener la biodiversidad a escalas de paisaje, propiciar la adaptación de la biodiversidad al cambio climático y propiciar medidas de mitigación al cambio climático; específicamente, aquellas relacionadas con proyectos REDD+, de tal forma que las sinergias entre ambas estrategias se maximicen. El modelo presentado se basa en análisis espaciales relativamente simples de replicar y con tecnología de fácil acceso en la mayoría de los casos. Se espera que esta herramienta pueda ser adaptada y utilizada por un amplio rango de usuarios.*

1 REDD+: reducción de emisiones de gases de efecto invernadero causadas por la deforestación y degradación de los bosques, la conservación y el incremento de la captura de CO<sub>2</sub>.

# Sinergias entre la adaptación y la mitigación de los cambios asociados con el clima

## 2.1. Estrategias para enfrentar el cambio climático: la mitigación y la adaptación

### 2.1.1. La mitigación del cambio climático

Cómo principio básico, la mitigación del cambio climático busca la reducción de emisiones de GEI y la protección y promoción de sumideros de carbono por medio de diversos usos del suelo y manejo del hábitat (Berry 2008a). Desde una perspectiva de cambio climático, las acciones de mitigación tienen mayores efectos globales; sin embargo, desde la perspectiva de biodiversidad, las medidas de mitigación pueden tener impactos significativos a nivel regional y local (Berry 2008b). Asimismo, si la mitigación se realiza a escala local genera beneficios globales con posibles beneficios a nivel local o regional (Adger et al. 2007).

Tanto la conservación de los ecosistemas naturales terrestres y marinos, como la restauración de los ecosistemas degradados son fundamentales pues tales ecosistemas cumplen roles determinantes en el ciclo global del carbono y, además, constituyen reservas significativas de este elemento (existencias o “stocks”). El carbono que se almacena y secuestra en los ecosistemas es producto de los procesos biológicos y biofísicos apoyados por la biodiversidad. Una gran cantidad del carbono terrestre (428 Gt C) es almacenado en los bosques, bien sea en la vegetación o en los suelos (CBD 2009).

Por el contrario, la degradación generalizada y acelerada de los ecosistemas ha sido y sigue siendo una fuente importante de emisiones de GEI. Según el IPCC (2007), en el 2005 cerca del 18% de las emisiones globales de GEI fueron atribuidas a la deforestación y otros cambios de uso de la tierra. Los suelos cultivados pueden contener entre el 50 y 70% menos carbono que los ecosistemas naturales.

No todos los tipos de bosque cumplen de igual manera la función de almacenamiento de carbono. Los bosques naturales densos contienen mayores reservas de carbono, así como mayor diversidad de especies. Los bosques modificados, por su parte, tienen relativamente menores reservas y menor diversidad. Las plantaciones forestales también almacenan y secuestran carbono pero, al ser cosechadas a temprana edad, su promedio de almacenamiento en el tiempo es menor y la biodiversidad que albergan es reducida (Cuadro 1).

Para reducir las emisiones de carbono producidas por la actividad humana se diseñan e implementan diferentes medidas de mitigación. En lo que al manejo de recursos naturales se refiere, estas medidas se pueden clasificar en cuatro categorías:

- Conservación de carbono (evitar emisiones por deforestación, protección de bosques)
- Secuestro de carbono

## Cuadro 1. Carbono total de los ecosistemas y beneficios para la biodiversidad en diferentes tipos de bosque

Tipo de bosque	Almacenamiento de carbono	Potencial de secuestro de carbono	Biodiversidad	Valor para bienes y servicios ecosistémicos
Bosque primario	+++	+	+++	+++
Bosque natural modificado	++	++	++	++
Plantaciones (especies autóctonas)	+	+++ (depende de la especie y el manejo)	+(+)	+
Plantaciones (especies exóticas)	+	+++ (depende de la especie y el manejo)	+	(+)

Fuente: Tomado de CBD (2009)

- Compensaciones de carbono (sustitución de combustibles fósiles, extracción de madera no sostenible)
- Compensaciones de carbono de los productos maderables

El Cuadro 2 muestra diferentes actividades de mitigación por cada categoría mencionada, así como el potencial que tienen para secuestrar carbono, conservar biodiversidad y generar beneficios socioeconómicos.

### 2.1.2. La adaptación al cambio climático

La adaptación se refiere a las medidas que buscan minimizar los efectos adversos del cambio climático actual o futuro sobre la infraestructura humana y el medio ambiente natural (Perkins et al. 2007) y, de esta manera, reducir la vulnerabilidad de los sistemas a los efectos del cambio climático. La adaptación también es vista como un medio para mantener o restaurar la resiliencia de los ecosistemas a las tensiones simples o múltiples (Berry 2008a).

Para las especies y comunidades naturales, los cambios en el clima a lo largo de los años impulsan el proceso de adaptación en un tiempo evolutivo; se espera que un cambio más rápido en el clima pueda generar un cambio evolutivo más significativo en las especies de plantas y animales. Algunas especies podrán adaptarse al cambio climático mediante el desplazamiento hacia otros lugares, para lo cual tendrán que generar cambios en la fisiología y fenología, o cambios evolutivos; otras especies no lo lograrán y se extinguirán (Hannah et al. 2005). Las especies y

sistemas más vulnerables experimentarán mayores impactos por el cambio climático mientras que los menos vulnerables no sufrirán tanto.

Las estrategias de adaptación de las especies se deben analizar a partir de la vulnerabilidad, de forma que se promueva la resistencia a factores de estrés generados por el cambio climático, se aumente la resiliencia de los sistemas, se disminuya la sensibilidad ante los factores de estrés, se aumente o mantenga la capacidad adaptativa, se anticipen las transiciones ecológicas que se puedan generar por las condiciones de un medio ambiente cambiante, se reduzcan otras amenazas y se fortalezcan las capacidades de gestión (Heinz Center 2008, Glick et al. 2011). La adaptación de la biodiversidad incluye los cambios evolutivos y las respuestas de plasticidad ecológicas (Marshall et al. 2009, Dawson et al. 2011).

Para promover la adaptación de la biodiversidad, la adaptación autónoma debe complementarse con medidas deliberadas y planificadas (Parry et al. 2007, Andrade-Pérez et al. 2010). La gestión humana, o adaptación planificada, contribuye a mejorar la salud de la biodiversidad, mitigar amenazas y mejorar la capacidad de conservación de las especies (Salafsky y Margoluis 1999, Granizo y Castro 2006), lo cual contribuye a mejorar la capacidad de adaptación (Magrin et al. 2007, Berry 2008a, Williams et al. 2008). El Cuadro 3 muestra algunas de las estrategias de adaptación recomendadas para la adaptación de la biodiversidad al cambio climático.

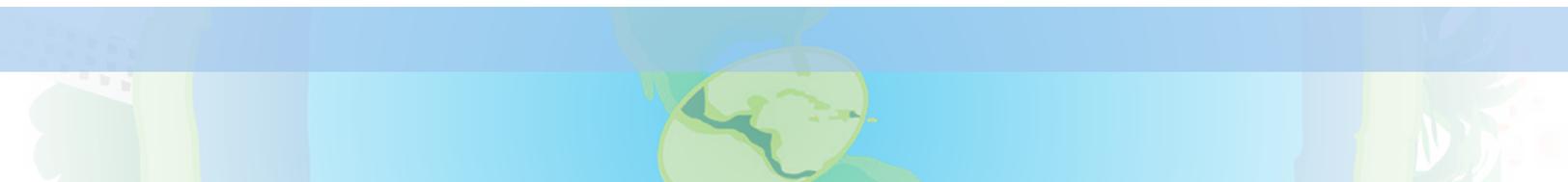
## Cuadro 2. Potencial e impacto de actividades de mitigación

Actividades de mitigación	Secuestro de C o potencial para reducir emisiones	Conservación de biodiversidad	Beneficios socioeconómicos
<b>Conservación de carbono</b>			
Cambios en políticas para reducir la deforestación	+++	+++	++
Creación de áreas protegidas	+++	+++	++
Monitoreo de áreas de bosque y cambios en la vegetación	++	++	++
Manejo sostenible de bosques	+++	++	+++
Técnicas para protección de incendios	++	++	+
Reducción de impactos de la tala	++	++	+++
Reservas recreacionales	++	++	+++
<b>Secuestro de carbono</b>			
Aforestación	++	++	++
Reforestación	+++	++	++
Plantaciones industriales	++	+	+++
Agroforestería	++	++	+++
Silvicultura urbana	++	++	+++
Compensaciones de carbono			
Rotaciones cortas del bosque para biocombustibles	+++	++	+++
Plantaciones de biomasa sostenible	+++	++	+++
Uso de residuos para energía	++		+++
Tecnologías eficientes de procesamiento	++	+	+++
Reciclaje de productos forestales	++	++	++
Bioenergía	+++	++	++
Estufas eficientes	+	++	+++
Biogás para cocinar	+++	++	+++
Hornos de carbón	++	++	++
<b>Compensaciones de carbono por productos forestales</b>			
Reciclaje de productos forestales	++	+	+
Sustitución de combustibles fósiles intensivos con productos de madera	++	+	+
Almacenamiento de productos de madera a largo plazo	++	+	
+ Impacto positivo bajo; ++ Impacto positivo medio; +++ Impacto positivo alto			

Fuente: Tomado de Ravindranath et al. (2000)

### Cuadro 3. Estrategias de adaptación de la biodiversidad al cambio climático

<b>Conectividad del paisaje</b>
Aumentar la conectividad y mejorar la matriz, de forma que mejore la permeabilidad del paisaje y el movimiento de especies.
Proteger corredores biológicos, refugios y zonas de alta importancia para la conectividad (zonas fuente).
Proteger áreas grandes e incrementar el tamaño de las existentes.
Crear redes de reservas ecológicas de diferentes tamaños.
Mejorar las técnicas de restauración y la matriz en humedales y ríos.
Proteger refugios de biodiversidad (actuales y futuros), así como zonas de alto endemismo.
Manejar y restaurar funciones ecosistémicas en vez de enfocarse en componentes específicos (ensamblaje de especies).
Crear áreas o corredores biológicos orientados longitudinalmente.
Incrementar el número y extensión de reservas y mejorar el manejo y restauración de las áreas protegidas existentes para facilitar su resiliencia.
<b>Planificación y monitoreo a diferentes escalas</b>
Integrar los impactos previstos por el cambio climático en los procesos de planificación.
Incrementar, mantener y evaluar programas básicos de monitoreo de vida silvestre y ecosistemas.
Mejorar la representación y replicación entre redes de áreas protegidas.
Adoptar la perspectiva de mediano y largo plazo en la planeación, modelación y manejo.
Proteger el rango completo de variación bioclimática.
Ajustar los planes existentes para enfrentar el cambio climático
Evaluar los impactos regionales.
Definir los planes de acción en términos temporalmente medibles.
Proteger ex situ especies en peligro.
Proteger bosques primarios.
Proteger las zonas montañosas.
Asegurar una respuesta temprana para hacerle frente a las especies invasoras.
Establecer áreas protegidas en zonas de alto endemismo.
Practicar el manejo adaptativo.
<b>Manejo de la matriz</b>
Mitigar otras amenazas.
Incrementar el uso de prácticas sostenibles en la matriz.
Realizar zonificaciones del uso de la tierra para minimizar los impactos del cambio climático.
Manejar la matriz.



<b>Manejo de áreas protegidas a nivel local</b>
Ejecutar manejo intensivo para asegurar poblaciones de especies.
Desarrollar e implementar programas para la translocación de especies.
Crear y manejar zonas de amortiguamiento cerca de áreas protegidas.
Asegurar los límites de las áreas protegidas existentes.
Ampliar la diversidad genética y de especies en la restauración y la silvicultura.
<b>Política y gobernanza</b>
Mejorar la coordinación interinstitucional a nivel regional.
Incrementar la colaboración interdisciplinaria.
Promover políticas de conservación que involucren usuarios locales y promuevan comunidades humanas saludables.
Liderar procesos de gestión ante el cambio climático en las altas esferas políticas y de poder.
Desarrollar programas de educación pública sobre prácticas de uso de la tierra y los efectos del cambio climático.
Incrementar la inversión en investigación.
Incrementar la comunicación de los impactos del cambio climático en grupos de interés y tomadores de decisión.
Desarrollar una agenda de investigación específica para el diseño de medidas de adaptación.
Crear cultura y flexibilidad institucional.
Incrementar la capacidad institucional para el cambio climático.
Mejorar y aumentar la capacidad de evaluar los costos ambientales, económicos y sociales y los beneficios acciones en particular.
Asegurarse que la vida silvestre y las necesidades de la biodiversidad se consideran parte de un proceso social de adaptación más amplio.
Mejorar la capacidad de administradores, planeadores y decisores para enfrentar los impactos del cambio climático.
Promover modelos de gobernanza basados en el comanejo adaptativo

Fuente: Adaptado de Glick et al. (2011), Heller y Zavaleta (2009), Mawdsley et al. (2009).

Para comprender el alcance de cada una de estas estrategias, así como sus interrelaciones positivas o antagónicas dentro de un marco de implementación, debe reconocerse que las opciones de mitigación y adaptación son diferentes. Estas diferencias tienen que ver con los objetivos de cada una de ellas, la escala temporal y espacial, los beneficios asociados, los actores relacionados con la toma de decisiones y la implementación. También existen diferencias entre los beneficiarios y los costos asociados con cada una de ellas (Cuadro 4). Estas diferencias deben ser consideradas en el desarrollo de estrategias de sinergias entre adaptación y mitigación, tanto en el marco de la gestión de la biodiversidad como de otros sectores.

## 2.2. Sinergias entre mitigación y adaptación: aspectos conceptuales y prácticos

Dado que los impactos del cambio climático son inevitables, la mitigación y la adaptación deben considerarse como estrategias complementarias dentro del rango de posibles respuestas humanas ante los impactos esperados. Así, entre más efectiva sea la mitigación menor será la necesidad de adaptación (Ayers y Huq 2009). Según Matocha et al. (2012), una adaptación exitosa es una condición previa y necesaria para una mitigación exitosa.

## Cuadro 4. Principales diferencias entre adaptación y mitigación al cambio climático

	Mitigación	Adaptación
Objetivo	Aborda las causas del cambio climático (acumulación de GEI en la atmósfera).	Aborda los impactos del cambio climático.
Escala espacial	Tema de interés internacional, en la medida en que la mitigación provee beneficios globales.	Tema local, en la medida en que la adaptación ofrece beneficios a escala local principalmente.
Escala temporal	Efectos a largo plazo en el cambio climático debido a la inercia del sistema climático.	Puede tener un efecto a corto plazo en la reducción de la vulnerabilidad.
Grado en que los beneficios pueden ser determinados, comparados y agregados	Todas las medidas de mitigación buscan reducir las emisiones de GEI. Las emisiones se expresan en CO <sub>2</sub> equivalente, lo que permite comparar las diferentes medidas de mitigación e identificar sus beneficios. Por su beneficio global es irrelevante el lugar en el que se ejecutan las medidas.	Los beneficios de la adaptación son difíciles de determinar en una métrica simple lo que dificulta la comparación entre diferentes medidas de adaptación. Los beneficios de la adaptación se pueden ver como daños monetarios evitados, vidas humanas salvadas, pérdidas de valores naturales y culturales. Debido a que los beneficios son locales o regionales, la adaptación tiene un valor diferente dependiendo del contexto natural, social, económico y político en el que se implemente la medida.
Relación con la incertidumbre	El establecimiento de objetivos de emisiones debe ser ajustado regularmente para tomar en cuenta las nuevas proyecciones.	La adaptación reactiva puede esperar hasta que hay evidencia más concreta de los impactos del cambio climático.
Sectores y actores	Principalmente energía, transporte, industria, manejo de residuos, sector forestal en países desarrollados, agricultura.	Principalmente agua y sector salud en áreas costeras y de baja altitud; agricultura, turismo y recreación; planeación urbana y conservación de la naturaleza.
	Ambas son relevantes para la agricultura y el sector forestal.	
Costos	Costos locales e inmediatos, beneficios locales y a largo plazo	Costos locales, beneficios locales
Beneficios secundarios	Algunas medidas pueden tener altos beneficios secundarios locales. Transferencia de tecnología.	Algunas medidas son benéficas en ausencia del cambio climático. Transferencia de tecnología.
Otros aspectos	Las dos contribuyen al desarrollo sostenible	

Fuentes: Dang et al. (2003), Wilbanks et al. (2003), Klein et al. (2005), Wilbanks (2005), Locatelli (2011), Locatelli et al. (2011).

De acuerdo con Dang et al. (2003), la relación entre mitigación y adaptación se debe a una interacción de causa-efecto; de hecho, se reconocen cuatro tipos de interrelaciones entre mitigación y adaptación (Klein et al. 2007, Matocha et al. 2012):

- Acciones de mitigación que tienen consecuencias en la adaptación.
- Acciones de adaptación que tienen consecuencias en la mitigación.
- Decisiones que incluyen compensaciones o sinergias ente adaptación y mitigación.
- Procesos que tienen consecuencias tanto para la adaptación como para la mitigación.

Las sinergias entre mitigación y adaptación pueden considerarse si las actividades de mitigación tienen consecuencias sobre la mitigación, o si las actividades de mitigación tienen consecuencias sobre la adaptación (Klein et al. 2007). Las sinergias se crean cuando las medidas que controlan las concentraciones de GEI también reducen los efectos adversos del cambio climático o viceversa. Las implicaciones de la adaptación pueden ser tanto positivas como negativas para la efectividad de la mitigación y viceversa (Wilbanks et al. 2007). Vallejo et al. (2016) definen las sinergias como *“las interrelaciones entre la adaptación y la mitigación del cambio climático, reflejadas en decisiones*

*y acciones planificadas, sujetas a un monitoreo y evaluación. Estas decisiones y acciones son diseñadas e implementadas en varias escalas y buscan generar y maximizar beneficios, minimizar disyuntivas y potenciales efectos compensatorios y promover el desarrollo sostenible”.*

Este tipo de medidas tienen efectos secundarios o colaterales, por lo que deben plantearse como parte de escenarios “ganar-ganar” (Klein et al. 2005). Se deben buscar, entonces, sinergias entre mitigación y adaptación para así reducir o evitar las compensaciones (“*trade-off*”) entre la mitigación y la adaptación y, a la vez, obtener el máximo beneficio para el medio ambiente global, las comunidades locales y las economías (Ravindranath 2007).

Si se analiza la complementariedad entre mitigación y adaptación a partir del marco conceptual para la evaluación de la vulnerabilidad propuesto por el IPCC (2007) se encuentra que, por un lado, la mitigación puede reducir la probabilidad del riesgo (exposición) y, por otro, que la adaptación puede reducir el impacto (sensibilidad) (Wilbanks et al. 2003, Yohe y Strzepek 2007). Así, en el marco de escenarios futuros en donde se espera que el cambio climático produzca efectos leves y manejables, el desarrollo de medidas de mitigación puede aumentar la capacidad de adaptación para reducir la probabilidad de cruzar el umbral crítico del clima tolerable. En escenarios futuros con impactos variables en el cambio del clima es posible que la mitigación haga que la adaptación sea menos efectiva en algunos periodos. Por último, en escenarios futuros con un cambio del clima exacerbado es posible que la adaptación falle completamente, independientemente del tipo de acción de mitigación que se lleve a cabo.

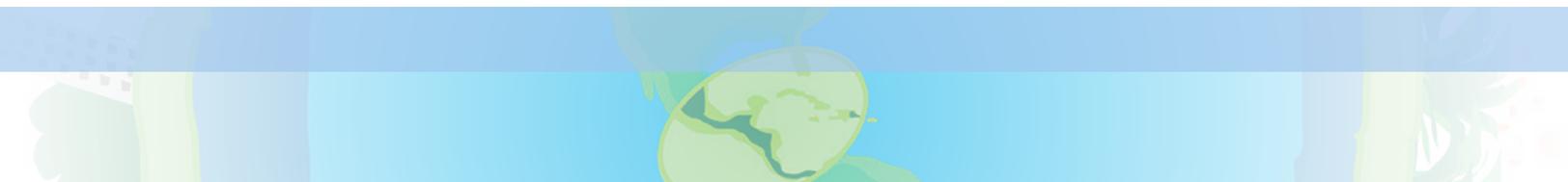
La mayoría de sinergias entre mitigación y adaptación combinan la protección o aprovechamiento de los bosques con mejores prácticas de usos de suelo y manejo de cuencas, conservación de la naturaleza, aforestación, reforestación, agroforestería, y sustitución de combustibles fósiles (Ravindrath 2007, Verchot et al. 2007, Matocha et al. 2012). De esta forma, se integra la mitigación y la adaptación con la gestión de los recursos naturales, la conservación de la biodiversidad y la lucha contra la desertificación (Klein et al. 2005).

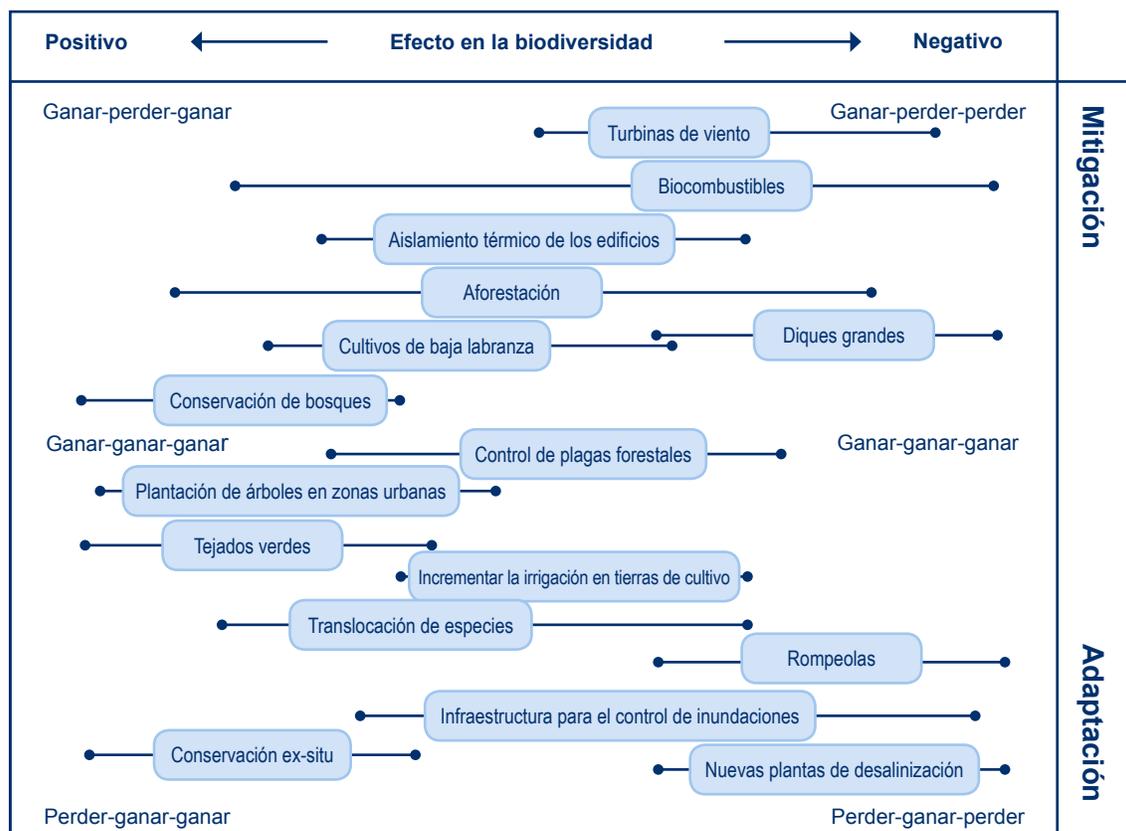
Se debe reconocer que los recursos financieros son escasos, así como la necesidad de hacer compensaciones entre los beneficios globales de la mitigación y los beneficios inmediatos locales de la adaptación. La Figura 1 muestra la relación potencial entre las medidas de mitigación y adaptación y sus impactos en la biodiversidad.

La definición de Vallejo et al. (2016) integra de manera inicial una visión de los resultados esperados con las sinergias, en términos de un impacto positivo de la implementación de tal acción. Entonces, las sinergias deben concebirse como la suma de las acciones complementarias entre la mitigación y la adaptación que, juntas, maximizan los resultados y reducen los costos. Esto implica no solo que el sistema aumente su resiliencia ante el cambio climático y mantenga su funcionalidad, sino que además la relación costo-efectividad sea positiva; esto es, que la inversión de recursos rinda el mayor impacto positivo posible sobre el sistema en cuestión (BID et al. 2015).

En el contexto del manejo y conservación de la biodiversidad es posible encontrar un amplio rango de estrategias diseñadas y aplicadas a diferentes escalas espaciales que cumplen, en términos generales, con los criterios antes mencionados. En el Cuadro 5 se sintetiza un amplio grupo de medidas que contribuyen simultánea y positivamente con la mitigación y la adaptación. Sin embargo, no siempre la relación entre adaptación y mitigación es positiva (Dang et al. 2003). Hay medidas de adaptación que tienen efectos negativos en la mitigación (Cuadro 6) y medidas de mitigación que tienen efectos negativos en la adaptación (Cuadro 7).

Por lo tanto, el diseño e implementación de estrategias de sinergias en el contexto del manejo y conservación de la biodiversidad requiere un análisis detallado sobre la complementariedad positiva o negativa. Este análisis puede realizarse a partir de criterios ecológicos, socioeconómicos (Andrade-Pérez et al. 2010) e institucionales para obtener una valoración objetiva. Además, dada la incertidumbre alrededor de los potenciales impactos de estrategias de sinergias, es imperativo el diseño de estrategias de monitoreo que permitan valorar de manera sistemática y continua tales impactos y que, de ser necesarios, los ajustes se puedan realizar en forma temprana.





**Figura 1.** Relación entre las medidas de mitigación y adaptación y sus impactos en la biodiversidad  
Fuente: Tomado de Paterson et al. (2008).

### Cuadro 5. Ejemplos de medidas que contribuyen a cumplir con los objetivos de adaptación y mitigación del cambio climático

Medida u opción	Implicaciones positivas para la mitigación	Implicaciones positivas para la adaptación
Conservación y restauración de humedales costeros y manglares	Almacenamiento de carbono en la biomasa y el suelo	Menor incidencia de tormentas y erosiones; hábitat a especies, anidamiento de peces, producción de productos maderables y no maderables
Conservación de humedales	Almacenamiento de carbono en turbas y sedimentos	Regulación del flujo de agua, filtración de agua
Conservación de bosques y biodiversidad	Almacenamiento de carbono en biomasa y suelo	Aumento de polinización, conservación de biodiversidad terrestre, protección de cuencas; mejores medios de vida para las comunidades locales
Restauración y conservación de corredores forestales, incluyendo los bosques de galería	Almacenamiento de carbono en biomasa y suelo	Protección contra inundaciones y deslizamientos, conservación de aguas y pesquerías, aumento de polinización y control de pesticidas, conservación de biodiversidad terrestre y acuática

Reforestación con especies nativas y diversas especies de árboles	Almacenamiento de carbono	Protección de hábitat y especies, control de flujo y preservación de suelos
Aforestación	Almacenamiento de carbono	Regeneración de especies nativas y de hábitats
Conservación de la agricultura y agroforestería	Secuestro de carbono, almacenamiento de carbono en biomasa y suelo	Retención de agua y filtración; mayor resiliencia de los cultivos a la sequía; menor susceptibilidad a huracanes; mejores medios de vida para las comunidades locales
Manejo de áreas protegidas	Conservación de los sumideros de carbono, secuestro de carbono	Conservación de biodiversidad, mayor migración de fauna y flora
Manejo sostenible de los bosques	Menos emisiones de GEI	Menor vulnerabilidad de los bosques
Barreras cortavientos	Almacenamiento de carbono en biomasa y suelo	Reducción de la erosión por viento, protección de cultivos, ingresos por productos forestales
Manejo de incendios	Almacenamiento de carbono en biomasa y suelo	Reducción de daños por incendios forestales
Conservación de suelos y agua (prácticas de cultivos modificadas en sistema de labranza)	Almacenamiento potencial de carbono, fijación de nitrógeno	Mayor retención de agua y nutrientes; mayor biodiversidad en el suelo
Menor uso de fertilizantes nitrogenados	Menos emisiones de GEI causadas por la producción de fertilizantes	Menor dependencia de insumos externos; reducción de costos
Prácticas para aumentar el almacenamiento de carbono en suelos	Almacenamiento de carbono en el suelo	Reducción de la erosión y contaminación del agua; mayor retención de agua en el suelo y mejor función biológica del suelo
Diversificación de los ingresos con árboles o productos forestales en sistemas silvopastoriles	Almacenamiento de carbono en biomasa y suelo	Menor incertidumbre en cuanto al impacto del tiempo y el clima en los cultivos o actividades con diferentes sensibilidades; preparación gradual para cambios de uso del suelo mejor adaptados al cambio climático; menor vulnerabilidad de los agricultores a problemas de mercado
Reducción de la producción de petróleo	Menor uso de combustibles líquidos que causan emisiones de GEI	Reducción del riesgo de derrames de petróleo; reducción del estrés en ecosistemas marinos y costeros

Fuente: Mills (2007), Ravindranath (2007), Matocha et al. (2012), Moser (2012)

## Cuadro 6. Ejemplos de medidas de adaptación que afectan los objetivos de mitigación

Medida de adaptación	Implicación potencialmente negativa en la mitigación
Desalinización, reutilización del agua, bombeo de agua subterránea, transferencia de agua entre cuencas	Mayor consumo de energía para bombeo de agua combustible, almacenamiento y transferencia de procesos, aumento de los GEI
Aumento de uso de aire acondicionado	Mayor uso de energía en las estaciones; aumento de emisiones de GEI dependiendo del contenido de carbono o combustible
Reubicación de infraestructura y desarrollo de llanuras de inundación	Aumento de emisiones GEI debido a la reconstrucción de estructuras (una sola vez), posible aumento de emisiones en curso relacionadas con el transporte
Construcción de grandes presas o estructuras masivas de protección costera	Aumento en el uso de energía (una sola vez) y de emisiones GEI relacionadas con la construcción (cemento)
Aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados para compensar las pérdidas potenciales de rendimiento	Aumento de las emisiones GEI del sector agricultura

Fuente: Moser (2012)

## Cuadro 7. Ejemplos de medidas de mitigación que afectan los objetivos de adaptación

Medida de mitigación	Implicaciones potencialmente negativas en la adaptación
Reemplazo de algunos combustibles fósiles por biocombustibles	La producción de biocombustible puede reemplazar ecosistemas más diversos, con impactos negativos potenciales en la producción de alimentos y en la seguridad alimentaria.
Reforestación o aforestación con especies no nativas o demandantes de agua	Competencia por suministros de agua, pérdida de biodiversidad, servicios ecosistémicos limitados.
Reducción de bajas a nulas emisiones de GEI en las fuentes de energía	El mayor precio de energía genera un desarrollo económico lento y afecta desproporcionalmente a las poblaciones con bajos recursos, lo que aumenta su vulnerabilidad potencial.
Sustitución del carbón por combustibles bajos en carbono	Reducción en los medios de vida de las poblaciones que viven de la minería de carbón, lo que aumenta su vulnerabilidad potencial.
Retención de agua en embalses durante la época lluviosa para usar en época seca; construcción de hidroeléctricas	Se aumenta el riesgo de derrames y roturas en las presas, desprotección contra inundaciones aguas abajo de represas hidroeléctricas.
Almacenamiento y captura de carbono	Aumenta el uso y competencia por el agua.
Diseños urbanos más compactos	Se incrementa el calor en islas urbanas y el desarrollo de llanuras aluviales (si las hay).

Fuente: Moser (2012)

### 2.3. Barreras a la identificación de sinergias entre adaptación y mitigación

Klein et al. (2005) y Locatelli et al. (2016) han identificado una serie de barreras que limitan la identificación y diseño de medidas para promover sinergias entre la adaptación y la mitigación al cambio climático. Puesto que los actores involucrados en la mitigación y la adaptación son diferentes, es probable que surjan complejidades institucionales que limiten la eficacia de las medidas (Locatelli et al. 2016).

Según Jones (2010), también existen limitaciones de tipo ecológico y límites físicos de los elementos mismos de la biodiversidad (i.e. especies, poblaciones, ecosistemas) que representan barreras naturales para la adaptación, la mitigación y sus sinergias. Otras barreras tienen que ver con las limitaciones impuestas por el conocimiento disponible, la tecnología y restricciones económicas, así como barreras relacionadas con los procesos sociales y culturales que determinan la forma en que las personas reaccionan ante la variabilidad y el cambio climático (Jones 2010). Estos factores, y las combinaciones que se den entre ellos,

limitan la identificación de sinergias entre adaptación y mitigación; por eso, deben ser abordados debidamente en el diseño, planificación e implementación de proyectos.

### 2.4. Áreas funcionales para la conservación de la biodiversidad y su contribución a la promoción de sinergias entre mitigación y adaptación

Las áreas protegidas (AP) han sido consideradas, a nivel mundial, como la principal estrategia para la conservación y mantenimiento de la biodiversidad (Dudley 2008). No obstante, en los últimos tiempos ha surgido la necesidad de manejar estos espacios de forma más integrada con el contexto territorial donde se ubican —en especial las AP de menor tamaño— para poder hacerle frente a las constantes y cambiantes presiones que sobre ellas se ejercen. El Convenio sobre Diversidad Biológica señala que las AP no deben verse en forma aislada sino como una red interconectada (CDB 1992) que contribuya al cumplimiento de los objetivos de conservación (Herrera y Finegan 2008). Al respecto, los corredores biológicos cumplen con la

función de mantener la conectividad entre las AP y los parches de bosques remanentes a través de una matriz compuesta por diversos tipos de usos del suelo, los cuales contribuyen a mantener los procesos ecológicos que sustentan la biodiversidad. Los corredores biológicos, además, pueden cumplir con funciones de representatividad ecológica que contribuyen a alcanzar metas de conservación regional o nacional.

Para lograr la integración de los componentes y asegurar la funcionalidad ecológica, el marco conceptual desarrollado por Poiani et al. (2000) puede utilizarse como referencia práctica. Estos autores introducen el concepto de **áreas funcionales para la conservación (AFC)**, las cuales se definen como *áreas en donde se mantienen especies, comunidades o sistemas ecológicos de interés focal, dentro de sus rangos naturales de variabilidad, así como los procesos ecológicos que los sustentan* (Poiani et al. 2000, Poiani y Richter 2001). Su propósito es mantener, a largo plazo, elementos de la biodiversidad representativos y viables desde el punto de vista ecológico. Tales elementos de la biodiversidad deben tener la habilidad de responder a cambios ambientales naturales o de origen humano, teniendo en cuenta tanto los patrones como los procesos bióticos y abióticos. En las AFC se toman en cuenta el tamaño, configuración y otros parámetros de diseño relacionados con las especies y ecosistemas, así como los procesos ecológicos que los sustentan (Poiani y Richter 2001). La presencia humana se considera como una influencia en la funcionalidad de estas áreas (Corrêa do Carmo et al. 2001), por lo que es posible que las AFC requieran manejo (p.e. restauración) para mantener la funcionalidad (Poiani et al. 2000). Por lo tanto, en su concepción es necesario integrar aspectos socioculturales, económicos y políticos. Las AFC constituyen espacios de concertación social y potenciales plataformas de gobernanza del territorio. Este enfoque integrado es el que se utiliza en la presente propuesta metodológica.

Las AFC pueden definirse a partir de tres escalas espaciales: **sitio, paisaje y redes** (Poiani et al. 2000). Los sitios funcionales buscan conservar un número reducido de ecosistemas y especies dentro de sus rangos naturales de variación a escalas locales (i.e. de metros a miles de hectáreas) o intermedias (i.e. de

cientos a decenas de miles de hectáreas). Los paisajes funcionales buscan conservar un rango amplio de ecosistemas o especies a escalas locales, intermedias y gruesas (i.e. de decenas de miles a millones de hectáreas). Por su parte, las redes funcionales están integradas por sitios y paisajes funcionales diseñados para conservar especies y ecosistemas a escalas regionales (i.e. millones de hectáreas o más, Poiani et al. 2000). De acuerdo con estos autores, la escala geográfica exacta de un ecosistema en particular o una especie en un área determinada o región particular dependerá de varios factores dentro de los cuales se encuentran las condiciones ambientales y las características de la historia natural de las especies.

Para efectos de la propuesta detallada en este documento, se escogió el paisaje como escala geográfica de trabajo para el diseño de AFC. Los paisajes funcionales típicamente integran gradientes terrestres y acuáticos completos. A esta escala se conserva la biodiversidad que se distribuye a escalas locales intermedias y gruesas.

Desde un punto de vista práctico, y según la combinación de criterios ecológicos, las AFC a escala de paisaje podrían diseñarse a partir de la integración de tres grandes componentes: *i) los núcleos de hábitat que dominan en el paisaje, ii) las zonas que permiten la conectividad ecológica y iii) la matriz, que juega un papel importante en conservación de la biodiversidad también, de acuerdo con la teoría de metapoblaciones* (Herrera 2010). Este diseño debe asegurar la representatividad de ecosistemas y especies a escalas locales, intermedias y gruesas.

En el contexto del cambio climático, las AFC representan una oportunidad para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo local, ya que podrían convertirse en una plataforma de objetivos múltiples que permitan enfrentar los impactos esperados del cambio climático. El manejo de AFC debe integrar elementos críticos para la conservación de la biodiversidad, como los refugios climáticos y la conectividad estructural y funcional, y además, debe contribuir a mantener la resiliencia y ofrecer oportunidades para la adaptación (Groves et al. 2012). Igualmente, al albergar una importante cantidad de biodiversidad, las AFC presentan

## Recuadro 1. Definiciones clave para el diseño de AFC

**Área protegida:** espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza, sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados (Dudley 2008).

**Corredor biológico:** región geográfica compuesta por áreas núcleo y zonas de interconexión que, bajo diferentes configuraciones espaciales, maximizan y aseguran la conectividad en la región. A su vez, constituye una plataforma de concertación y planificación social para la definición de objetivos de uso racional de la biodiversidad, de tal forma que asegure el mantenimiento de los procesos ecológicos que sustentan la biodiversidad, los servicios ecosistémicos asociados y los beneficios que estos generan a las comunidades locales (Herrera-F 2010).

**Matriz:** todos los otros tipos de usos del suelo que no son cobertura forestal (Bennett 1998).

un amplio rango de oportunidades para la mitigación (Poorter et al. 2015). Al integrar las AP en el diseño y gestión de las AFC, se asegura su contribución a la mitigación por medio del almacenamiento y captura de carbono, así como a la adaptación del cambio climático pues previenen desastres naturales, protegen la biodiversidad, suministran agua potable, funcionan como bancos de diversidad genética y fuente de alimento, entre otros servicios ecosistémicos a las comunidades rurales (IPCC 2007, Dudley 2008).

Heller y Zavaleta (2009) identifican a los corredores biológicos como una de las principales estrategias para la facilitación de la adaptación al cambio climático, ya que permiten la dispersión de especies entre diferentes núcleos de hábitat (Miko 2007). Además, los CB contribuyen a la capacidad de adaptación de los ecosistemas, promueven la conectividad, disminuyen la resistencia y favorecen la integridad del paisaje (Miko 2007). Por otro lado, los CB facilitan la conservación de los recursos naturales, el aumento de la cobertura forestal, la disminución de la fragmentación del bosque en el paisaje y la mejora de las prácticas agrícolas; todos ellos, mecanismos que contribuyen a la mitigación del cambio climático (Heller y Zavaleta 2009).

De esta manera, la creación de AFC permite establecer sinergias no solo entre la mitigación y la adaptación al cambio climático sino también entre estos dos componentes, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible. Por lo tanto, las AFC integran el manejo de la biodiversidad, la interacción con comunidades humanas y las actividades productivas que contribuyan a la conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados, tal y como se aborda en esta propuesta metodológica.

## 2.5. REDD+ y las áreas funcionales para la conservación de la biodiversidad

Desde su presentación en la COP11 de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, celebrada en Montreal en el 2005, la idea REDD+ ha experimentado grandes cambios, tanto en la percepción que se tiene de ella como en su evolución en la práctica. Estos cambios no solo responden a un proceso natural de crecimiento de la idea, sino también al impacto político, en tanto que se enfrenta a intereses diversos y factores ideológicos. Una definición amplia, desarrollada a partir de los resultados de la COP13 celebrada en Bali en el 2007, propone que REDD+ *“abarca las acciones llevadas a cabo a nivel local, nacional y global con la finalidad principal de reducir las emisiones derivadas de la deforestación y degradación de los bosques y aumentar las reservas forestales de carbono en los países en desarrollo”*.

En un primer momento, la característica fundamental de REDD+ era la utilización de incentivos económicos para modificar el comportamiento de los usuarios de los bosques. Se esperaba que la conservación de los bosques se tornaría más beneficiosa que la tala, gracias a los pagos por servicios ambientales o ecosistémicos (PSA) (Sunderlin y Sills 2013). Sin embargo, con el proceso de crecimiento de la idea, REDD+ integra múltiples objetivos, desde la estabilización de las concentraciones de GEI de la atmósfera hasta objetivos amplios relacionados con el ordenamiento territorial (CBD 2009). Después del 2005 se añadieron otros objetivos, como la protección de la biodiversidad, la reducción de la pobreza y el mejoramiento de los medios de vida locales. Desde entonces se han añadido aún más “cobeneficios”: potenciación de los derechos indígenas, mejora de la gobernabilidad y mayor capacidad para la adaptación climática. REDD+, además, se ha vinculado con la agenda agricultura-clima.

Desde el punto de vista de consecución de objetivos, tanto individuales como múltiples, los enfoques de REDD+ y de otros esquemas anteriores son complementarios (Sunderlin y Sills 2013). Las intervenciones anteriores a REDD+ se enfocan en proyectos de inversión en conservación y desarrollo (PCD), muchos asociados a áreas protegidas y por definición vinculados o implementados en áreas funcionales para la conservación. Los PCD buscan ejecutar acciones tempranas que les ayuden a ganar la confianza de la comunidad; REDD+, por su parte, ofrece una palanca de movilización en forma de pago por un servicio ambiental, de la que no dispone necesariamente el modelo PCD (Sunderlin y Sills 2013). La combinación de incentivos de REDD+ y previos a REDD+ tiene potencial para facilitar una estrategia de gestión optimizada e integrada, la cual contribuye al logro de los objetivos del proyecto y, a la vez, reduce el riesgo de que fracasen las intervenciones de REDD+. Otra de las ventajas de la implementación de PCD y PSA en forma combinada en un territorio es que contribuye a evitar fugas en otras ubicaciones; esta corriente de acción es, por lo tanto, apropiada para su implementación a nivel local (Sunderlin y Sills 2013). Adicionalmente, las AFC pueden servir como plataformas para la maximización de objetivos de políticas públicas. El Gobierno de Costa Rica, desde el 2010, decidió asignar parte de

sus inversiones de PSA a los corredores biológicos y al mantenimiento de parches de bosques importantes para mantener la representatividad de la biodiversidad a nivel nacional.

Los enfoques de AFC y REDD+ sin duda contribuirán al cumplimiento de las metas nacionales de representatividad ecológica. Las áreas funcionales para la conservación son importantes desde el punto de vista de la representatividad y de los servicios ecosistémicos que proveen a las comunidades. La ejecución de proyectos REDD+ en AFC contribuye a maximizar la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de servicios ecosistémicos (CBD 2009).

Dentro del esquema de AFC, el manejo sostenible del bosque se concibe como una opción para la conservación misma de la biodiversidad. El manejo forestal sostenible puede ser tan efectivo para mantener la cobertura forestal como otros arreglos institucionales relacionados con la conservación (p.e. las áreas protegidas). En este sentido, y con respecto a los objetivos de manejo de los bosques, los proyectos REDD+ mal diseñados e implementados podrían resultar en importantes costos de oportunidad debido a la pérdida de servicios ecosistémicos. Si los bosques que son parte de REDD+ solamente se manejan para carbono, esto podría acarrear pérdidas importantes en productos no maderables del bosque (CBD 2011).

Las AFC son de importancia para potenciales proyectos REDD+, ya que se relacionan con los beneficios colaterales de la biodiversidad en la selección de lugares de inversión. Un estudio de los proyectos en diferentes lugares del mundo, realizado por CIFOR, concluyó que los proyectos de REDD+ son más factibles en los países con gran biodiversidad y más áreas protegidas. Los proponentes de proyectos que consideran los beneficios colaterales de biodiversidad al seleccionar sus inversiones coinciden con esa conclusión. Un estudio detallado en los dos países con mayor participación en las actividades de REDD+ – Brasil e Indonesia– sugiere que es más probable que los proyectos se establezcan en zonas con altas tasas de deforestación y elevada densidad de carbono. Esto implica que la tendencia podría ser a establecer proyectos en zonas de bosques que no están bien

## Recuadro 2. Contribución del mecanismo REDD+ a la conservación de la biodiversidad

**Red de áreas protegidas y sistema de conservación.** Las áreas protegidas pueden ayudar a reducir las emisiones asociadas a la deforestación mediante el desarrollo del sistema de conservación; es decir, la creación de nuevas áreas para conservar elementos de la biodiversidad todavía no representados en dicho sistema. Los sistemas de áreas protegidas utilizan instrumentos de planificación conocidos como análisis de vacíos en la biodiversidad cubierta por los sistemas de áreas protegidas (Herrera y Finegan 1998).

La expansión del sistema de conservación de la biodiversidad también puede contribuir con la conectividad. La creación de vínculos entre hábitats clave (conectividad ecológica) permite que las especies migren y ayuda a fortalecer los bancos de genes sanos. Esto es de particular importancia para la adaptación al cambio climático, porque el mejoramiento de la conectividad ecológica es una piedra angular de la política de conservación. La integración de las áreas protegidas en el paisaje terrestre y marino se logra mediante la reducción de la fragmentación de los hábitats y la creación de corredores ecológicos entre hábitats (CBD 2009).

**Manejo efectivo de áreas protegidas.** Otra oportunidad que ofrecen los proyectos REDD+ al manejo de las áreas protegidas es el mejoramiento de la efectividad en la gestión de dichos espacios naturales. El control de las amenazas en un área protegida está relacionado con la capacidad de gestión de un área y la disponibilidad de recursos. Los proyectos REDD+ podrían apoyar en este sentido para incrementar la capacidad de gestión y, por lo tanto, reducir el riesgo de deforestación y la pérdida general de biodiversidad.

**Reducción de pérdida de hábitats, incluyendo bosques.** La reducción de la deforestación y la degradación parece tener sinergias claras con la conservación de hábitats. Los procesos de priorización de los bosques que más contribuyan a la conservación (p.e. bosques naturales o no intervenidos) deben ser parte de los proyectos REDD+. Sin embargo, no debe olvidarse que los parches pequeños de bosque son también relevantes para la conservación de especies y de la variación genética.

**Restauración de hábitats y procesos ecológicos clave.** La restauración en el marco de proyectos REDD+ es de particular importancia para la conservación de la biodiversidad. Estos planes pueden contribuir a incrementar la resiliencia ecológica y, a la vez, mejorar las reservas de carbono. La restauración de tierras degradadas podría ser una contribución relevante

protegidos, pero que a su vez son parte de objetivos adicionales como mantenimiento de biodiversidad a escala de paisaje (ie. AFC, Lin et al. 2012).

La plataforma de concertación ofrecida por las AFC es otra oportunidad para el diseño e implementación de proyectos REDD+, no solo por la oportunidad de integración con las comunidades, sino también por las posibles salvaguardas. Las salvaguardas implican transparencia en cuanto a gobernabilidad, respeto a los

derechos de pueblos indígenas y poblaciones locales, su participación plena en las actividades de REDD+ y acciones para reducir el riesgo de pérdida de biodiversidad, reversión (permanencia) y desplazamiento de las emisiones (fugas) (CMNUCC 2011a citado por Jagger et al. 2012). Las plataformas de gobernanza en AFC pueden ser espacios para la discusión y negociación de estos temas, así como la definición de acciones concretas para lograr su objetivo, dentro de procesos participativos de planificación y monitoreo.

# Priorización de áreas para la conservación de la biodiversidad que permitan promover sinergias entre la adaptación y mitigación

## 3.1. Aproximación metodológica para la priorización espacial

La herramienta que aquí se describe tiene como principal objetivo la priorización espacial para la búsqueda de sinergias entre adaptación y mitigación en áreas funcionales para la conservación de la biodiversidad a escala de paisaje.

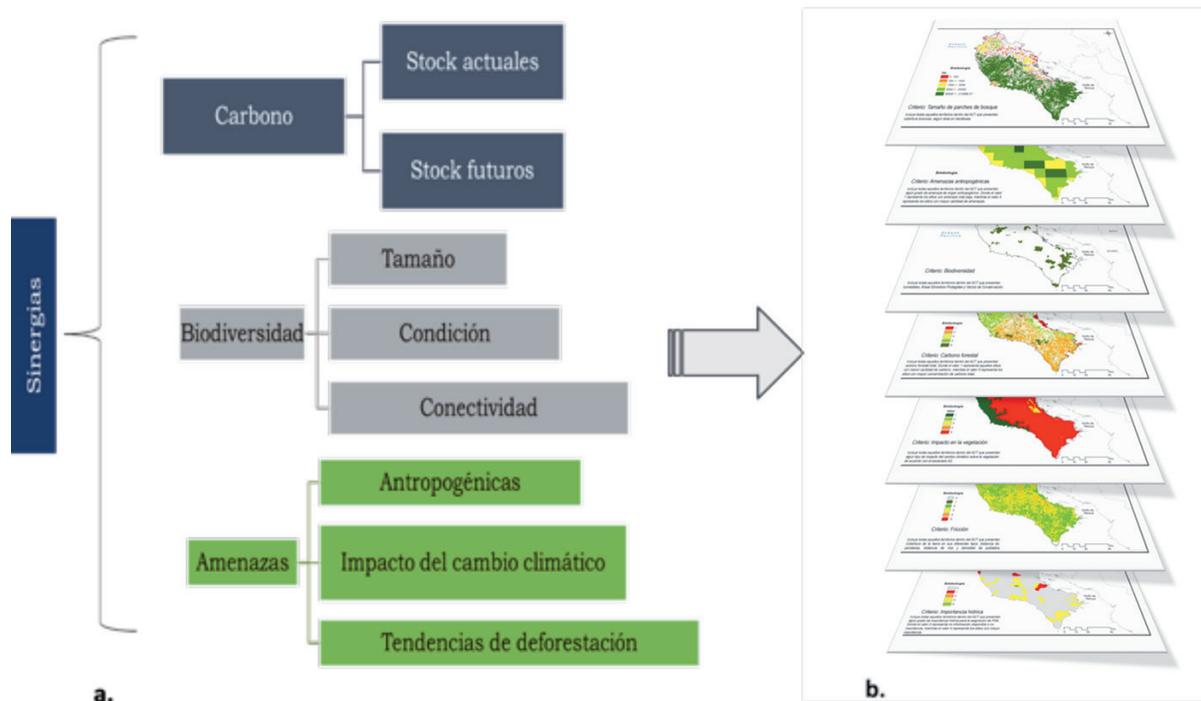
Para lograr esto, el procedimiento se basa en la combinación de variables espacialmente explícitas relacionadas con la mitigación (i.e. contenido de carbono en la vegetación), la adaptación de la biodiversidad ante el cambio climático (vulnerabilidad), la funcionalidad de los ecosistemas forestales (diversidad de especies, tamaño de parches de bosque, resistencia al movimiento de las especies en el paisaje y amenazas de origen antrópico) (Figura 2). Las variables son optimizadas mediante criterios de priorización en un sistema de información geográfica (SIG).

En el caso de los contenidos de carbono, el procedimiento asegura la selección de aquellos sitios con mayores contenidos de carbono, de tal forma que se optimice el servicio y se cumpla, en el marco del contexto REDD+, con el objetivo de asegurar que tales

reservas se mantengan en el espacio y en el tiempo con el fin de reducir emisiones. Sin embargo, desde el punto de vista de la biodiversidad, también es importante mantener las áreas boscosas con menores densidades de carbono. El modelo busca asegurar que los diferentes tipos de bosque estén representados en la priorización final.

En el caso de la biodiversidad se integran variables que se relacionan con la resiliencia o capacidad adaptativa. En cuanto a la capacidad adaptativa, el procedimiento prioriza las áreas de bosque de mayor tamaño (por ofrecer mayores posibilidades de sostener poblaciones de especies a largo plazo). Igualmente, el proceso asegura que la conectividad estructural, atributo ecológico clave ante cambios en los patrones del clima, se mantenga o maximice, de tal forma que el proceso de priorización resulte en paisajes con estas características (Bennett 1998).

El modelo integra, identifica y maximiza las interacciones entre mitigación y adaptación. Así, por ejemplo, se priorizan las áreas en donde la mayor biodiversidad, representada espacialmente por la riqueza de especies, coincide con los mayores contenidos de carbono en la biomasa. Esto contribuye a la planificación de



**Figura 2.** Modelo general utilizado para la optimización de sinergias entre adaptación y mitigación para la conservación de la biodiversidad (a). Las variables se analizan mediante un algoritmo desarrollado con un sistema de información geográfica (b).

proyectos REDD+ que maximizan su impacto en la conservación de la biodiversidad.

El modelo también considera elementos asociados con la oportunidad de lograr objetivos y minimizar costos relacionados con el manejo del paisaje. Así entonces, se integran variables, como el grado de amenaza a la biodiversidad, que se asocian con procesos de degradación de los bosques (relevante para estrategias REDD+) y funcionalidad de los ecosistemas (relevante para las estrategias de adaptación), así como con el grado de esfuerzo en la implementación de estrategias. Es posible que en los sitios donde la cantidad e intensidad de amenazas es baja, las inversiones para lograr objetivos de adaptación y mitigación sean también menores.

### 3.2. Pasos para la priorización de paisajes integrando sinergias entre adaptación y mitigación para la conservación de la biodiversidad

Los pasos generales utilizados en el proceso de priorización de paisajes son los siguientes:

- Paso 1.** Identificación de reservas de carbono
- Paso 2.** Identificación de sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad
- Paso 3.** Análisis de vulnerabilidad de la biodiversidad ante el cambio climático
- Paso 4.** Análisis de amenazas antrópicas

**Paso 5.** Tendencias de deforestación y degradación de bosques

**Paso 6.** Valoración del grado de conectividad biológica en el paisaje

**Paso 7.** Identificación de variables que facilitan la adaptación al cambio climático

**Paso 8.** Optimización e identificación de paisajes prioritarios

**Paso 9.** Definición de los límites del área funcional

**Paso 10.** Definición de los límites del AFC

A continuación se analiza en detalle cada uno de los pasos mencionados. Asimismo, se detallan las características generales de cada una de las variables utilizadas. Las primeras tres variables se relacionan directamente con el componente de carbono almacenado en la biomasa, procesos de deforestación y degradación (mitigación). El resto de las variables se relacionan con la biodiversidad y características relacionadas con su resiliencia y procesos de facilitación para la adaptación. Debe tomarse en cuenta que se dan contribuciones múltiples entre variables. Así por ejemplo, en la evaluación de la cobertura del bosque, las variables relacionadas con la vulnerabilidad de la biodiversidad son afines a las variables de vulnerabilidad de los contenidos de carbono en la biomasa.

La metodología propuesta está diseñada para priorizar la selección de los componentes del paisaje mediante un algoritmo desarrollado en un SIG. La herramienta puede aplicarse a diferentes escalas espaciales, tanto a nivel nacional como regional, dependiendo de la resolución de los datos disponibles. El modelo requiere el desarrollo y aplicación de todas y cada una de las variables descritas, así como de los algoritmos de optimización espacial utilizados.

En las siguientes secciones se detalla la justificación teórica y la relevancia de cada una de las variables utilizadas por la herramienta de priorización. Para ilustrar la aplicación del procedimiento descrito se ofrece el caso de un área de conservación en Costa Rica.

Como parte del procedimiento también se muestra el resultado asociado con la preparación de cada una de las variables utilizadas en el modelo de optimización espacial<sup>2</sup>.

### **Paso 1** Identificación del contenido de carbono en la biomasa

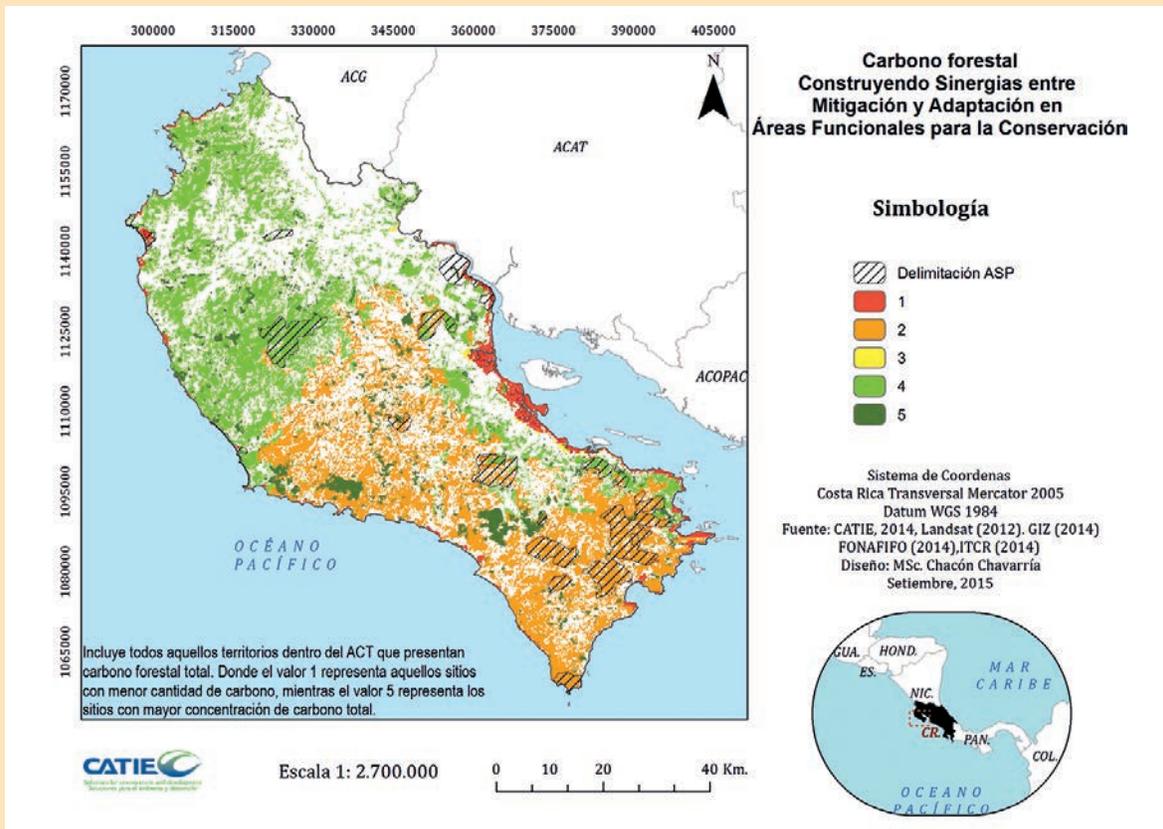
En el marco de proyectos REDD+, la remuneración asociada con este mecanismo está condicionada a la reducción de emisiones en el sector forestal según un nivel de referencia determinado. Los flujos de carbono dependen tanto de los cambios en el uso de la tierra como del uso de los bosques y la densidad del carbono. Por ejemplo, ciertas áreas están expuestas a grandes presiones por la conversión del bosque pero almacenan poco carbono en la biomasa; otras áreas no sufren mayor presión y almacena altos contenidos de carbono en la biomasa. Por esto es tan necesaria la información que muestre las variaciones en la densidad del carbono y las presiones sobre el bosque. Esta última variable se describe en los pasos 2 y 3.

La variable utilizada en el modelo desarrollado hace referencia al contenido de carbono en la vegetación. La información de contenido de carbono puede integrarse en este modelo en función de la disponibilidad de datos y la capacidad para recolectar datos de campo. Si la información está disponible para la zona de estudio, puede utilizarse tanto el carbono sobre el suelo, como el contenido en el suelo. Si es posible realizar trabajo de campo, mediante métodos de extrapolación espacial (p.e. *kriging*), los datos de campo se podrían asociar con diferentes tipos de bosque o cobertura vegetal. En el Recuadro 3 se muestra un ejemplo de la aplicación de este procedimiento.

<sup>2</sup> Para la preparación de la información espacial se utilizaron datos de áreas protegidas y cobertura del suelo de SINAC (2007) e ITCR (2014). Los datos de vulnerabilidad al cambio climático fueron tomados de BID (2015). Los datos de biodiversidad incluyen la distribución potencial de aves, mamíferos y reptiles, disponibles en la base de datos del Instituto Nacional de Biodiversidad de Costa Rica (INBio, <http://www.inbio.ac.cr/atta/>) y generados para esta publicación. Los datos de carbono fueron tomados de GIZ (2015).

### Recuadro 3. Distribución espacial de las reservas de carbono en el Área de Conservación Tempisque, Costa Rica

El mapa siguiente muestra la distribución espacial del carbono total en el ACT. En esta zona dominan el bosque seco y el bosque estacional. Para efectos del proceso de optimización, en todas las capas del SIG se utilizó una malla de 25m x 25m y el carbono identificado se clasificó en función de quintiles.



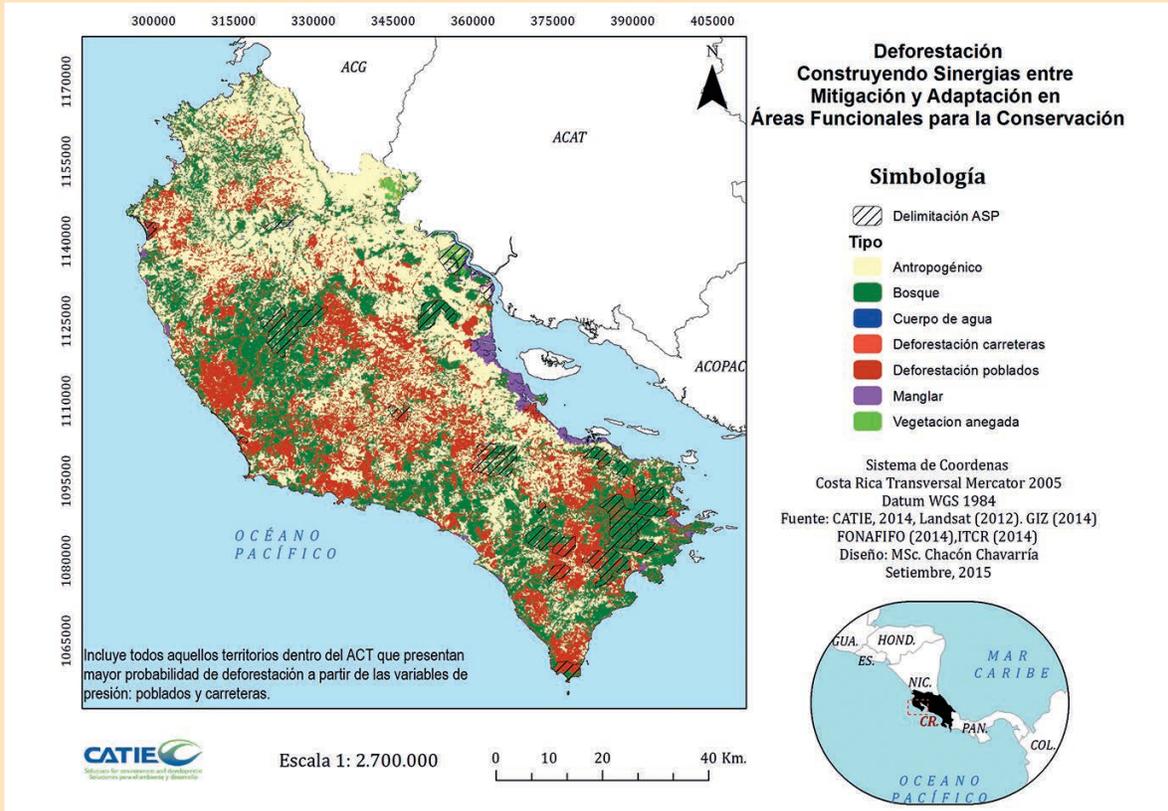
#### Paso 2 Patrones espaciales de la deforestación y la degradación de bosques

Desde el punto de vista de la mitigación, la deforestación es una de las causas indirectas más importantes asociadas con la emisión de carbono a la atmósfera (Lovejoy y Hannah 2005). Además, es una de las principales amenazas a la pérdida de biodiversidad a nivel mundial, con consecuencias relacionadas con la pérdida y fragmentación de hábitats (WWF 2015).

Desde el punto de vista de las sinergias, los sitios con mayores probabilidades de sufrir procesos de deforestación deben ser, por lo tanto, los prioritarios en proyectos de mitigación (p.e. REDD+), adaptación y conservación de la biodiversidad. La inversión en los paisajes priorizados es de particular importancia para proyectos REDD+. Mediante esta estrategia se busca reducir la deforestación y la degradación y, por lo tanto, estas inversiones vendrían a reducir la tasa de pérdida de biodiversidad asociada con un ecosistema forestal en particular. El Recuadro 4 muestra la aplicación de esta aproximación en un sitio en Costa Rica.

#### Recuadro 4. Deforestación potencial en el Área de Conservación Tempisque, Costa Rica

El mapa siguiente muestra el riesgo a la deforestación en la región noroeste de Costa Rica. La estimación de la pérdida de cobertura se asocia con la presencia de carreteras y poblados. Estos sitios deben ser prioritarios para proyectos de mitigación y generación de sinergias.



### Paso 3 Análisis de amenazas antrópicas

Las amenazas no climáticas son aquellas presiones sobre la biodiversidad que degradan los atributos ecológicos clave. Estas son de origen humano y son el resultado de las prácticas no sostenibles de uso de la tierra que impactan en forma negativa a la biodiversidad. El Recuadro 5 muestra un ejemplo de la información sobre amenazas, necesaria en el proceso de priorización de paisajes.

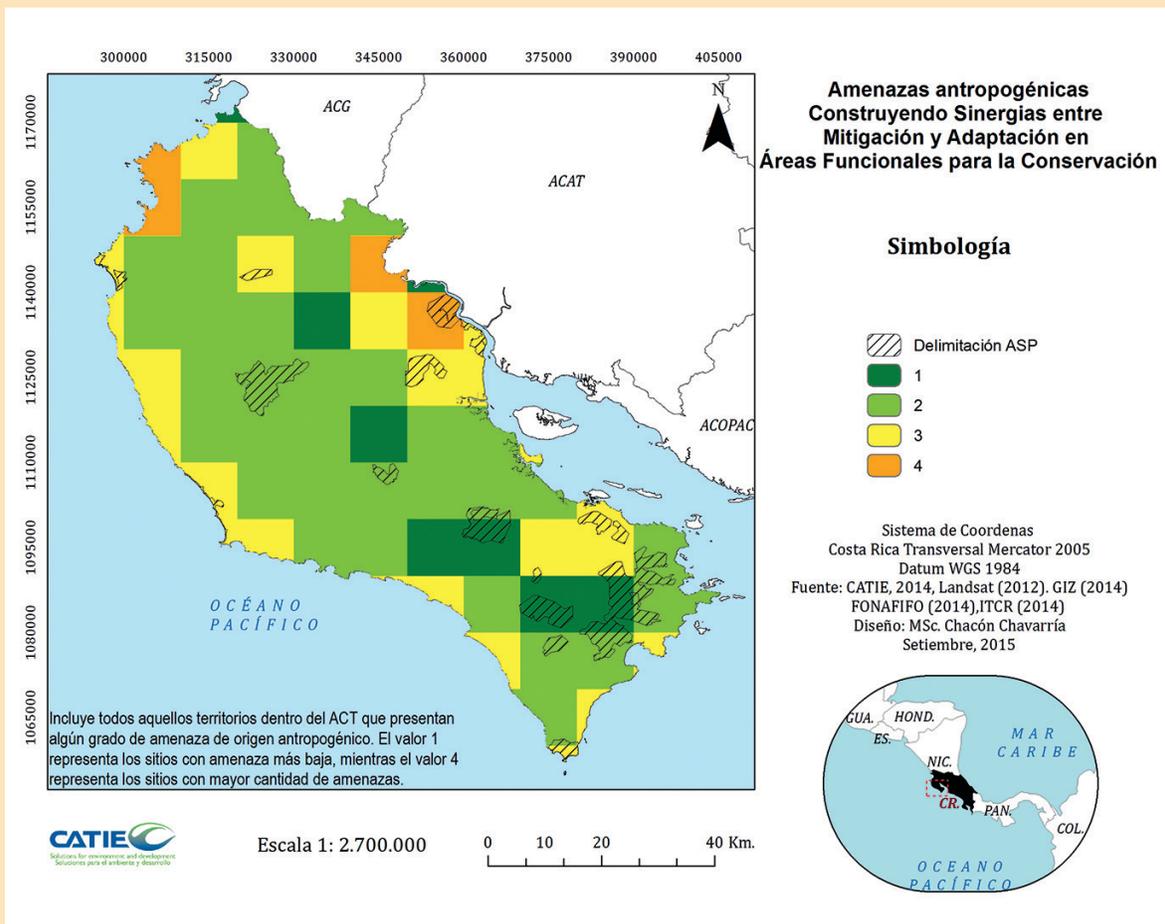
Incluir estas amenazas en la identificación de sinergias es relevante para la priorización de las áreas boscosas que ofrecen mayores oportunidades para la conservación de la biodiversidad y menor esfuerzo de inversión en proyectos de mitigación. Estas amenazas también se relacionan con procesos de degradación de atributos ecológicos clave de la biodiversidad (Herrera y Corrales 2004).

### Recuadro 5. Identificación y priorización de amenazas antrópicas a la biodiversidad en el Área de Conservación Tempisque, Costa Rica

Las amenazas de origen antrópico (p.e. contaminación, degradación, cacería) son relevantes en el proceso de priorización dado que representan oportunidades potenciales para la inversión. Un supuesto en el proceso de planificación es que aquellos sitios (píxeles, en el contexto de la herramienta) con menores presiones a la biodiversidad tienen mayores posibilidades de mantenerla y, por lo tanto, la inversión potencial será menor y de mayor impacto. Igualmente, en el contexto de proyectos REDD+, estos sitios podrían asegurar mayores impactos y, por lo tanto, más cobeneficios.

El mapa siguiente muestra la distribución e intensidad de las amenazas antrópicas en el ACT. Este mapa es producto de un análisis espacial de las cinco principales amenazas a la biodiversidad que persistirán en los próximos 20 años.

Fuente: Elaborado con datos de consultas a expertos realizadas en el 2015



#### **Paso 4** Identificación de sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad

En el contexto de sinergias, las redes de áreas protegidas pueden contribuir de dos maneras a la reducción de emisiones asociadas a procesos de deforestación y degradación: mediante la expansión del sistema de áreas protegidas para incluir nuevas áreas, o mediante el refuerzo de la efectividad de las áreas protegidas existentes (Heller y Zavaleta 2009).

Un insumo importante para la planificación y priorización a nivel nacional y subregional son los análisis de vacíos en la representatividad ecológica de la biodiversidad en los sistemas de áreas protegidas (Herrera y Finegan 2008). Estos estudios priorizan aquellas áreas que son críticas para conservar la biodiversidad en un determinado país o subregión, de acuerdo con las metas nacionales definidas. Mediante el logro de las metas de conservación, el sistema de áreas protegidas no solo alberga muestras representativas de una buena parte de la biodiversidad, sino que también contribuye a incrementar su resiliencia y redundancia ante posibles impactos externos (Groves 2003). El Recuadro 6 muestra la aplicación de este concepto en una región en el Pacífico seco de Costa Rica.

La identificación de sinergias en AFC integra entonces estos sitios prioritarios, normalmente respaldados por la institucionalidad del país o región. La integración de estos sitios, tanto áreas protegidas como vacíos de conservación y otras áreas clave para la biodiversidad, en un AFC significa que estas áreas pueden contribuir con el cumplimiento de los objetivos de representatividad, resiliencia y redundancia (Groves 2003).

#### **Paso 5** Identificación de variables para representar la biodiversidad

La variación espacial de la biodiversidad puede ser representada para diferentes niveles de organización biológica dependiendo de la información disponible (Poiani et al. 2000). Además de la riqueza de especies, que ha demostrado ser un indicador útil y robusto de la biodiversidad (Moreno 2001), la representación de los diferentes tipos de ecosistemas presentes es de vital importancia para asegurar una mayor heterogeneidad de hábitats; sobre todo en función de potenciales cambios en las condiciones bióticas que determinan la distribución espacial de ciertas especies (Primack et al. 2001).

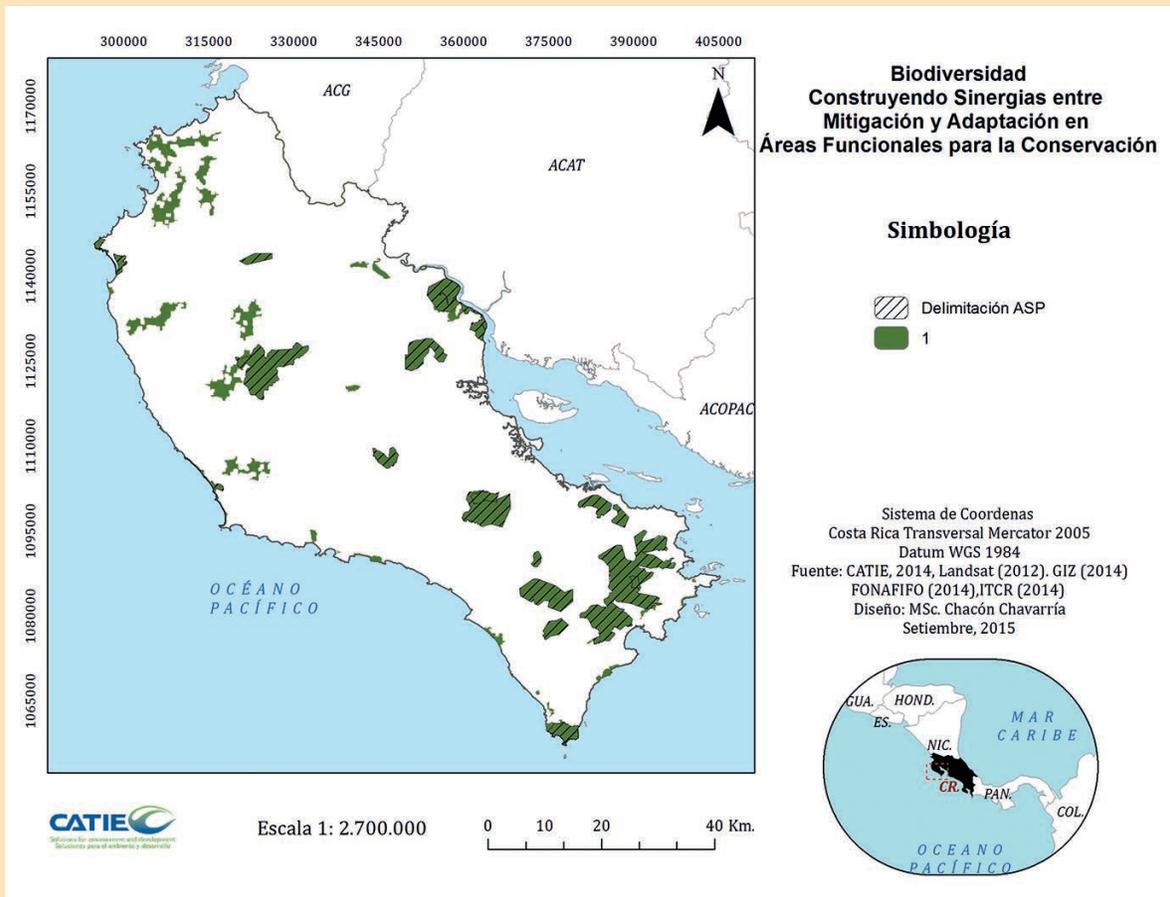
- a. **Riqueza de especies:** las especies que se consideran en el análisis deben ser aquellas priorizadas y consideradas más importantes a nivel nacional y regional. Los datos provenientes de las Listas Rojas de Especies de la UICN y de listas de especies amenazadas a nivel nacional son de gran relevancia para el proceso de informar la toma de decisiones y el diseño de proyectos de sinergias (Recuadro 7).
- b. **Tipos de ecosistemas:** en el análisis se deben incorporar los diferentes tipos de bosques o comunidades vegetales presentes en el sitio para asegurar una representación ecológica de esta variabilidad dentro del paisaje. Además, el uso de este criterio reduce un posible efecto de representar únicamente áreas boscosas con las mayores densidades de carbono, lo que podría excluir áreas de menor densidad de carbono pero que son importantes para la conservación de la biodiversidad.

## Recuadro 6. Sitios de importancia para la conservación de la biodiversidad en el Área de Conservación Tempisque, Costa Rica

La contribución de las áreas protegidas a la mitigación es bien reconocida a nivel internacional (CBD 2009). Igualmente reconocido es el aporte a la conservación de la biodiversidad. Es así como la integración de esta estrategia de conservación en la búsqueda de sinergias entre mitigación y adaptación a escala de paisaje resulta muy eficiente. Sin embargo, también es relevante la priorización de los parches de ecosistemas de mayor tamaño. De acuerdo con la teoría de biogeografía de islas, es de esperar que los parches grandes de bosque alberguen un mayor número de especies; entonces, en estos parches la cantidad de carbono almacenado será mayor. Sin embargo, en ambos casos esto puede variar en función del grado de degradación o, inclusive, el tipo de ecosistema.

El mapa siguiente presenta los parches de bosque de mayor tamaño en el ACT, seleccionados con base en el análisis de la estructura del paisaje. En paisajes altamente fragmentados, estos ecosistemas pueden representar una buena parte de la biodiversidad, así como los mayores remanentes de carbono almacenado en la biomasa.

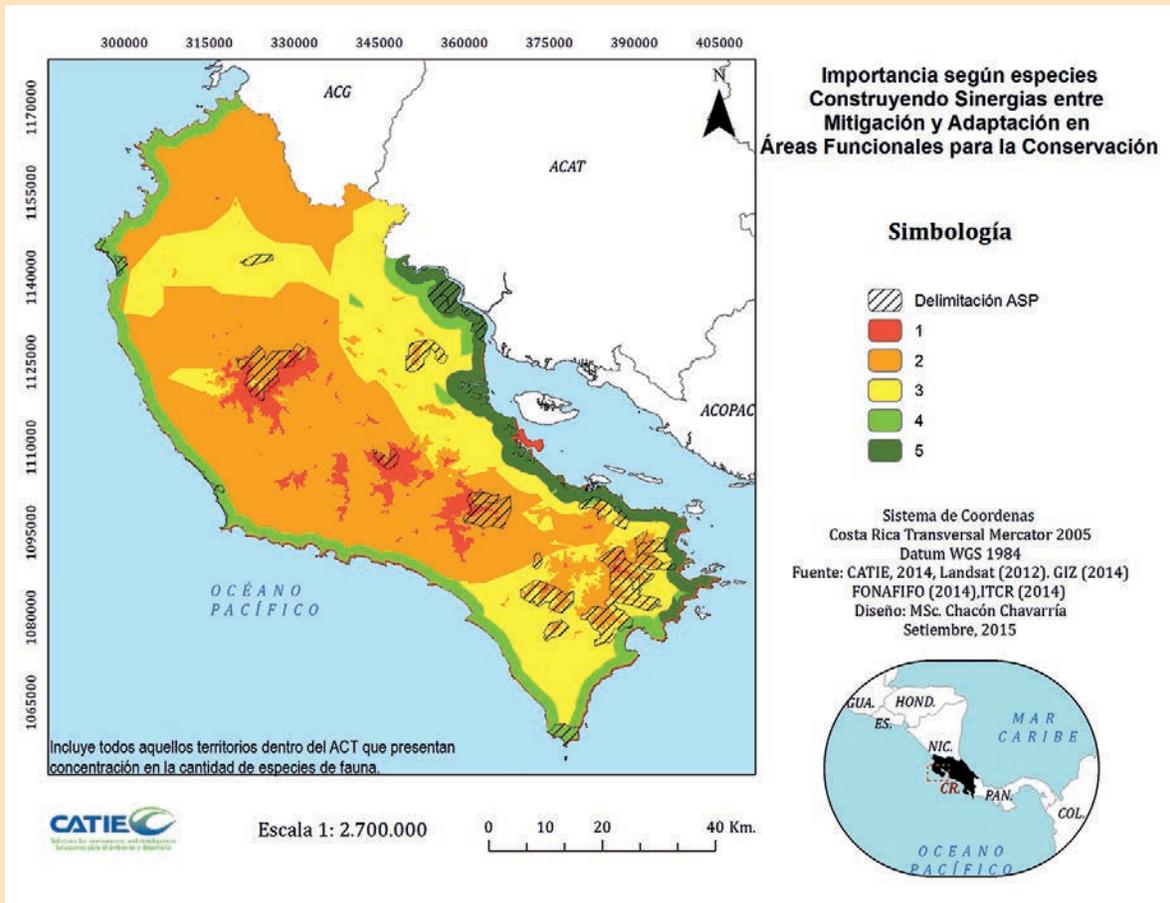
Fuente: SINAC (2007).



### Recuadro 7. Riqueza de especies en el Área de Conservación Tempisque en Costa Rica

Para determinar la riqueza de especies se usaron datos sobre el rango de distribución natural de especies de grupos taxonómicos seleccionados y de los cuales se tiene información. Estos rangos representan la ocurrencia de las especies en su hábitat natural y se determinaron a partir de observaciones validadas o estimaciones de presencia en términos de conocimiento o calidad de hábitat y ecología de la especie. La estimación de la riqueza de especies se deriva de la sumatoria, en una unidad determinada, del número de rangos de especies consideradas en el cálculo, que se traslapan con la unidad de análisis (Boding et al. 2014).

El mapa siguiente muestra la riqueza de especies del ACT según la aproximación metodológica descrita.



**Paso 6**  
**Identificación de variables para la  
representación y modelaje de la  
conectividad estructural**

El componente estructural de la conectividad lo determina la distribución espacial de los diferentes tipos de hábitat en el paisaje. En él influyen factores como la continuidad de hábitats adecuados, la dimensión de las brechas, la distancia que se debe atravesar y la presencia de senderos alternativos (característicos de las redes). El *componente funcional* de la conectividad, por su lado, se refiere a la respuesta conductual de individuos y especies a la estructura física del paisaje. En él intervienen factores como la escala en que una especie se percibe y se desplaza dentro del medio ambiente, su grado de especialización a un hábitat, su “tolerancia” a hábitat alterados, la fase de vida, tiempos y formas de desplazamientos y dispersión y la respuesta de la especie ante depredadores y competidores (Bennett 1998).

La conectividad estructural representa la posibilidad de las especies de movilizarse ante cambios en las condiciones climáticas que determinan parte del nicho ecológico de las especies. La inclusión de esta variable permitiría movimientos tanto horizontales como verticales de las especies, y les facilitaría la adaptación ante los cambios mencionados (Recuadro 8).

Además de la pérdida de hábitat, la fragmentación ha sido reconocida a nivel mundial como un impacto importante asociado con la actividad humana (Fahrig 2003). La fragmentación del hábitat es un proceso dinámico que resulta de cambios marcados en el patrón de hábitats de un paisaje a través del tiempo (Bennett 1998). El proceso de fragmentación incluye otros dos componentes: la reducción del tamaño del hábitat y el incremento en el aislamiento del hábitat como resultado de nuevos usos de la tierra en el ambiente intervenido (Bennett 1998).

La reducción del hábitat ocurre cuando un parche grande de vegetación se subdivide en parches más pequeños; típicamente implica una reducción en el promedio y la moda de la distribución del área, por lo que la frecuencia tiende a ser mayor en parches pequeños.

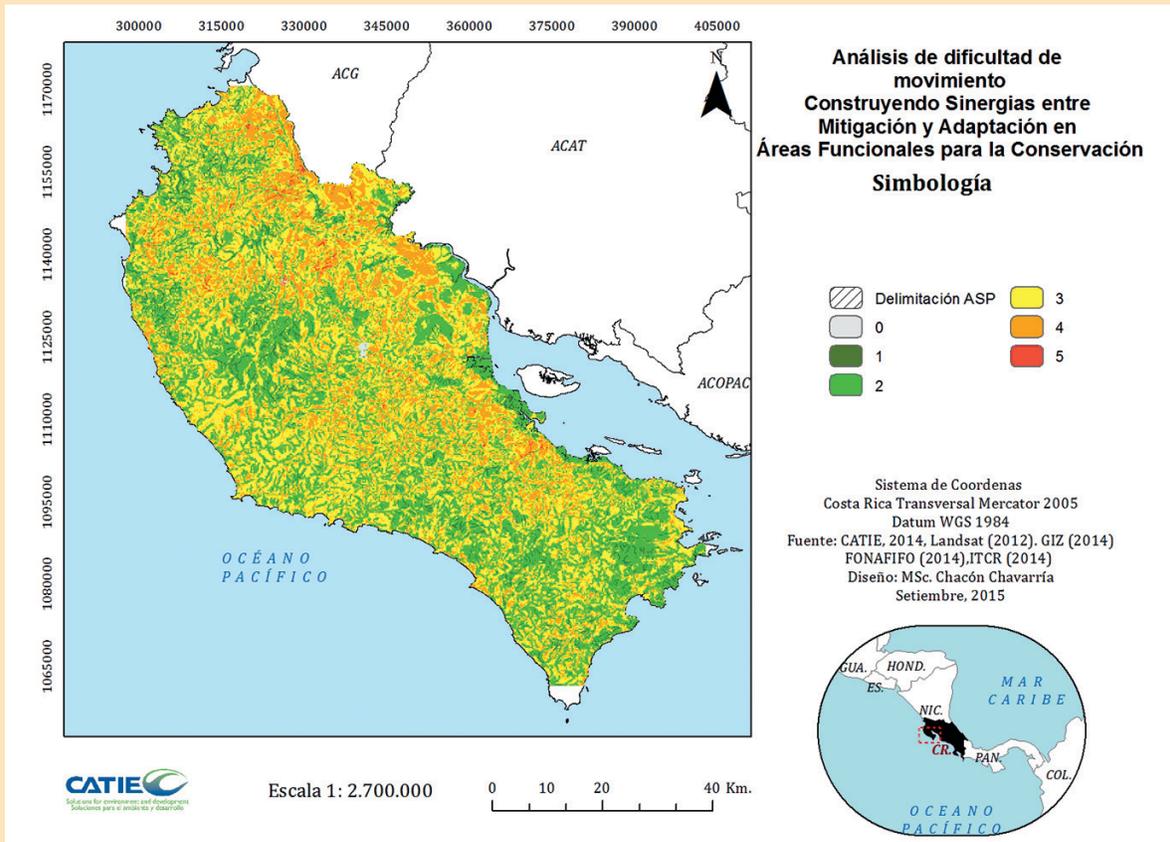
El aislamiento del hábitat tiene también consecuencias importantes desde el punto de vista ecológico. La fragmentación se asocia con la presencia de carreteras, agricultura intensiva, áreas urbanas, para citar algunos ejemplos. Estos cambios en la composición y estructura del paisaje generan influencias en procesos ecológicos como la dispersión de semillas, la polinización de plantas, la colonización de las poblaciones, las relaciones depredador-presa y la dispersión de parásitos y enfermedades, entre los más relevantes (Bennett 1998, Primack et al. 2001). Adicionalmente, estos cambios en la composición del paisaje generan cambios en los hábitats del paisaje. Cuando un hábitat se fragmenta, muchas especies de anfibios, reptiles, mamíferos y aves no logran cruzar a través de áreas abiertas, aun en distancias cortas (Fahrig 2003).

El proceso de fragmentación genera cambios en la forma de los hábitats del paisaje (Bennett 1998) y la creación de bordes o transiciones abruptas entre la vegetación y la matriz (Fahrig 2003). Un incremento en la relación área/perímetro significa que una mayor proporción del ambiente natural está cerca del borde y, por lo tanto, expuesto a los cambios ecológicos que allí ocurren (Bennett 1998). El efecto de borde genera cambios en las condiciones bióticas y abióticas en las inmediaciones del parche (Bennett 1998). Entre los impactos en factores abióticos se citan los cambios en las condiciones microclimáticas como velocidad del viento, temperatura, humedad, radiación solar, condiciones edáficas y condiciones físicas y químicas (Bennett 1998). En lo que a factores bióticos se refiere, Fahrig (2003) indica que el efecto de borde incide en la distribución de la abundancia de especies y recursos (p.e. producción de frutos) y provoca cambios en las interacciones entre especies, como depredación, competencia, dispersión de semillas o herbivoría.

### Recuadro 8. Grado de fricción al movimiento de las especies como indicador de conectividad estructural en el Área de Conservación Tempisque, Costa Rica

La conectividad biológica o grado de fricción está determinada por los tipos de cobertura y por el uso de la tierra. La dificultad de movimiento de las especies parte del supuesto de que la movilidad será menor en las áreas donde la cobertura existente o las actividades que se desarrollan se alejan más de la condición natural. Así por ejemplo, las áreas con concentraciones de población y/o con zonas de alto tránsito imponen la mayor dificultad, mientras que las áreas de cobertura natural inalterada, sin presencia de centros de población, presentan pocas dificultades de movimiento. Los valores de dificultad fueron determinados a partir del análisis de cuatro factores: cobertura del suelo, red fluvial, densidad de poblados y red de carreteras (Arias et al. 2008).

El mapa siguiente muestra los valores de fricción en el ACT. Los valores menores indican una cobertura natural compatible con las necesidades de movilización de las especies, mientras que los valores más altos se interpretan como área cuya cobertura no es apta para el movimiento de una buena parte de las especies. Desde el punto de vista de la herramienta desarrollada, esta información permite dar prioridad a aquellas zonas donde las posibilidades de mantenimiento de la conectividad estructural (i.e. menor fricción) son mayores. En Mesoamérica los paisajes se encuentran bastante fragmentados; esto hace que en la matriz se encuentren diferentes usos de la tierra, como agricultura y ganadería. Por ello, el proceso de priorización incluye la representación de diferentes coberturas y, por lo tanto, la heterogeneidad es parte de este proceso (ver Paso 8, iii).



### **Paso 7** **Análisis de impactos del cambio climático en la biodiversidad**

Una variable importante que debe considerarse en el análisis de sinergias entre adaptación y mitigación son los impactos futuros del cambio climático en la biodiversidad. Según Andrade et al. (2011), es fundamental considerar los impactos en procesos de priorización de sitios de importancia para la conservación de la biodiversidad y en planes de adaptación. A partir del conocimiento de la vulnerabilidad y de los impactos futuros del cambio climático será posible desarrollar estrategias efectivas que faciliten la adaptación y promuevan la resiliencia o resistencia al cambio (Füssel 2007, Andrade-Pérez et al. 2010). Al dar prioridad a los bosques en donde los impactos esperados son menores se potencian las oportunidades para la adaptación de la biodiversidad (Recuadro 9).

### **Paso 8** **Identificación de variables que facilitan la adaptación al cambio climático**

Para efectos de esta investigación, se identificaron tres variables relacionadas con las posibilidades de adaptación de la biodiversidad al cambio climático.

#### **a. Tamaño de los parches de ecosistemas**

Un método de adaptación al cambio climático es identificar prioridades en función de la distribución de futuros biomas, comunidades ecológicas o especies individuales bajo diferentes escenarios de cambio climático. Esto implica que las áreas protegidas deben localizarse en los lugares en donde se prevé que se mantendrán los puntos de alta biodiversidad o aquellos que facilitarán hábitat para especies de alto valor para la conservación. Sin embargo, debe señalarse que estas aproximaciones siguen siendo experimentales y que la incertidumbre de estos modelos sigue siendo un reto que limita su aplicación en la práctica (Recuadro 10).

Algunos estudios sugieren la necesidad de establecer nuevas áreas protegidas en lugares cercanos a las ya existentes para facilitar la migración de las especies. Asimismo, el modelaje de cambios potenciales de la biodiversidad es una herramienta valiosa para la investigación de largo plazo.

Aunque sigue vigente el debate en cuanto al tamaño de las áreas protegidas para responder adecuadamente al cambio climático, parece claro que hay consenso en cuanto a la necesidad de ampliar los diferentes hábitats lo antes posible. Esta necesidad responde no solo al cambio climático, sino también a otras presiones que afectan y seguirán afectando a la biodiversidad a corto y largo plazo. Del mismo modo, las áreas de importancia biológica fuera de las áreas protegidas son una oportunidad importante para la adaptación al cambio climático.

Los parches pequeños igualmente tienen un papel importante en la conservación de la biodiversidad, aunque no necesariamente en almacenamiento de carbono. En un estudio realizado en Brasil se estudió el efecto de la fragmentación en parches pequeños sobre la población de *Manilkara maxima* (Sapotacea), una especie amenazada. Se encontró que aun los parches de 25 ha podrían tener un papel importante para conservar la variación genética, dependiendo de la densidad de individuos y el número de individuos maduros reproductivos. Por ello, es necesario considerar los parches pequeños en el diseño de estrategias de conservación y restauración de ecosistemas (Ganzhorn et al. 2015).

#### **b. Conectividad del paisaje**

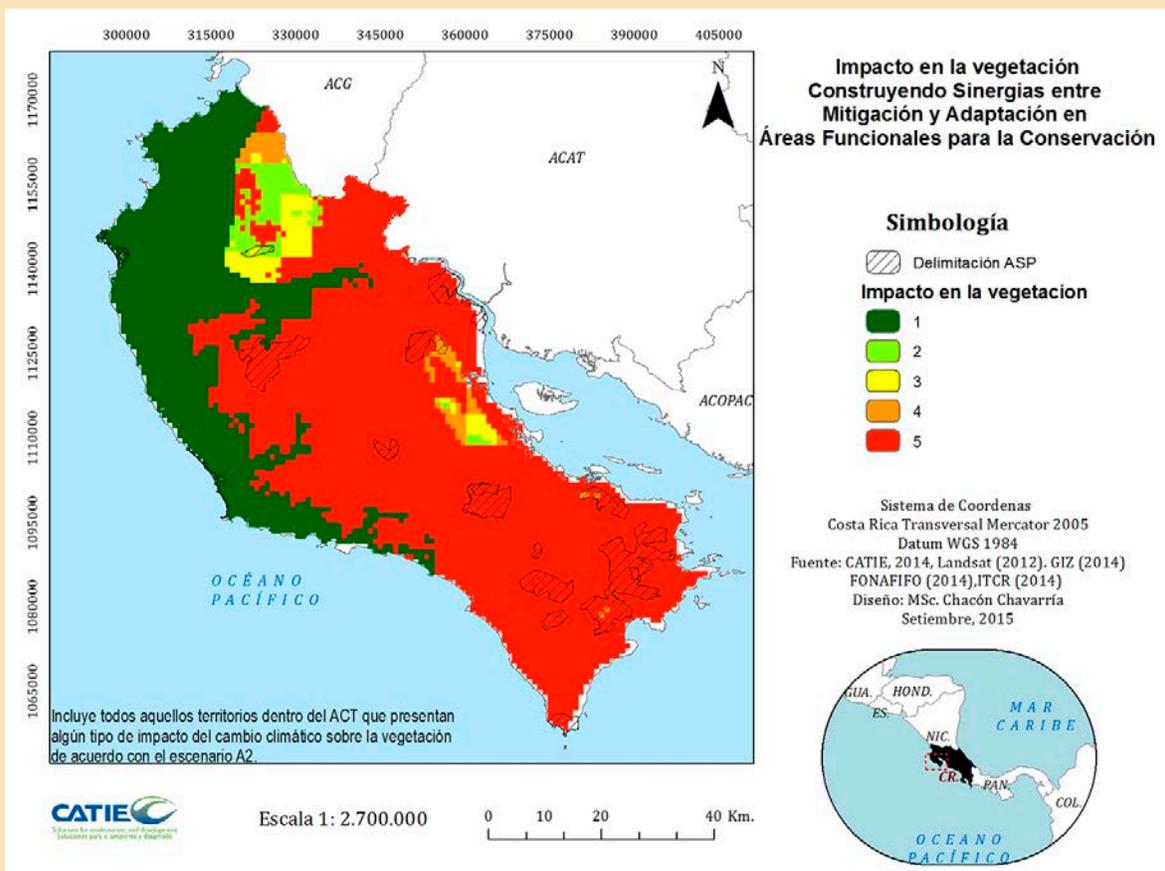
El incremento y mejoramiento de la conectividad del paisaje es la estrategia de adaptación más recomendada en la literatura científica. Se recomienda el diseño y establecimiento de corredores biológicos entre las áreas protegidas, nuevas y ya existentes, y orientarlos en forma longitudinal a través de tierras sin protección. Es recomendable incorporar bosques a lo largo de los cauces de los ríos e incrementar la cobertura boscosa en fincas agrícolas y/o ganaderas. Sin embargo, una de las principales limitaciones de esta estrategia es la falta de evidencia sobre su efectividad y posibles impactos no deseados (p.e. especies invasoras).

### Recuadro 9. Impacto futuro del cambio climático en la biodiversidad del Área de Conservación Tempisque, Costa Rica

El impacto futuro del cambio climático en la biodiversidad es considerado fundamental para el desarrollo de estrategias de adaptación. Determinar cuáles sitios sufrirán cambios y cuáles mantendrán la biodiversidad es estratégico para asegurar la persistencia en el espacio y el tiempo. Desde el punto de vista de la priorización de paisajes para las sinergias, las áreas de mayor relevancia son aquellas en donde se espera un impacto reducido, con el fin de que las acciones actuales aseguren el mantenimiento de otras amenazas de origen no climático; o sea, que ayuden a mantener la resiliencia de los ecosistemas. Sin embargo, la herramienta permite modelar diferentes escenarios, no solo con esta variable, sino también con todas las demás utilizadas. Así por ejemplo, un escenario podría incluir la priorización (i.e. mayor peso en el modelo) de aquellos sitios (i.e. pixeles) que representan el mayor impacto esperado del cambio climático con el objetivo de focalizar acciones en estas áreas y diseñar estrategias para resistir el cambio.

El mapa siguiente muestra los valores de los impactos futuros del cambio climático en la biodiversidad del ACT. En este caso, el indicador utilizado para representar la biodiversidad es la vegetación. Los valores más altos representan los mayores impactos (o cambios) en la vegetación actual.

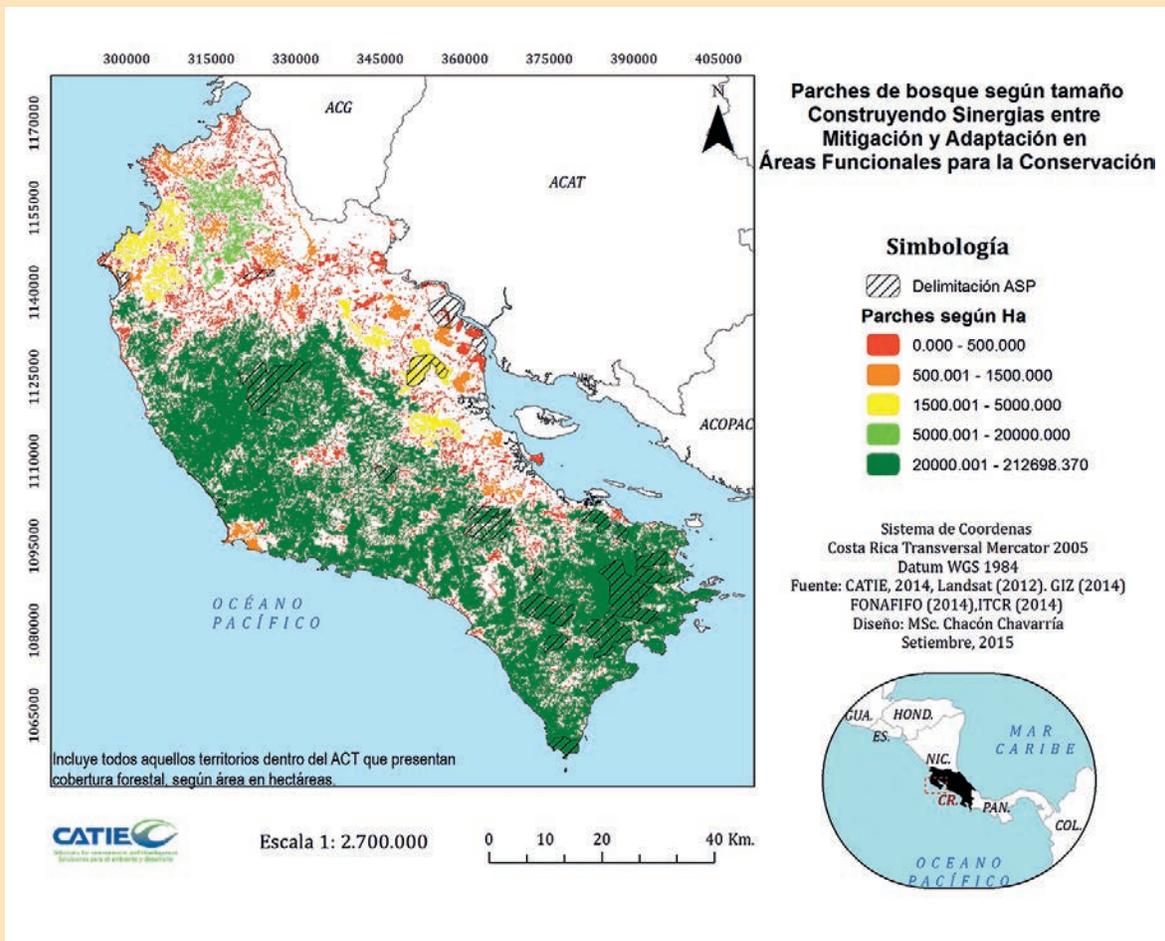
Fuente: BID (2015).



### Recuadro 10. Identificación de los parches de bosque de mayor tamaño en Área de Conservación Tempisque, Costa Rica

Desde el punto de vista ecológico, el tamaño de un parche de bosque se relaciona con la pérdida de especies a escala de paisaje (Benett 1998). Según el autor, la evidencia muestra que las áreas más pequeñas sostienen menos especies que las áreas más grandes del mismo tipo de vegetación. Los parches más pequeños son también más vulnerables a los impactos de amenazas de origen antrópico.

El mapa adjunto muestra la distribución del tamaño de los parches de bosque en el ACT. Para el análisis se priorizan los parches de bosque de mayor tamaño para implementar estrategias de sinergias entre adaptación y mitigación. Es de esperar que dentro de un mismo tipo de vegetación, los parches de mayor tamaño almacenen mayor cantidad de carbono en la biomasa.



Aún con la conectividad asegurada, algunas especies no tendrán la capacidad de migrar (p.e. especies con capacidad de dispersión restringida). Para estos casos, la translocación de especies es altamente recomendada en la literatura. Sin embargo, se requieren estudios que comprueben la eficacia de esta medida de adaptación para comprobar su efectividad, riesgos ecológicos adversos y costos asociados.

### c. Heterogeneidad del paisaje

El incremento de la heterogeneidad a lo largo del paisaje y el diseño de estrategias que, como los corredores biológicos, representen y mantengan gradientes ecológicos (p.e. altitudinales), tanto en las áreas protegidas como en el paisaje circundante, puede fortalecer la resiliencia de la biodiversidad ante el cambio climático, incluyendo eventos extremos. Estas acciones aplican tanto a escala regional como local. En el contexto de los disturbios asociados con el cambio climático, el tamaño del parche y la conectividad son variables asociadas con la resiliencia de la biodiversidad a nivel de ecosistemas.

## Paso 9 Optimización espacial para la priorización del paisaje y lograr la adaptación de la biodiversidad y la mitigación al cambio climático

A continuación se detalla el proceso de optimización del modelo desarrollado en un SIG (Figura 2). En este modelo se utilizaron las variables descritas en los pasos anteriores para la priorización de las zonas del paisaje que cumplen con los criterios de sinergias entre la adaptación de la biodiversidad y la mitigación al cambio climático.

Específicamente, para la priorización de los sitios que cumplen con los criterios de sinergias entre adaptación y mitigación, se utilizó el software ArcGIS/ArcView 3.3 y las extensiones Cost Distance y su función Cost Path. A partir de los núcleos prioritarios para la conservación o el almacenamiento de carbono, el modelo genera una superficie de costos o dificultad con un punto de origen y un punto de llegada (Recuadro 11). La definición de los píxeles se fundamenta en una regla general que establece que cualquier línea necesariamente debe

conectar dos áreas protegidas o núcleos importantes para la conservación de la biodiversidad o la mitigación; el nivel de importancia depende de su tamaño y su rol en la dispersión de la biodiversidad (Arias et al. 2008).

En un primer nivel de priorización, se identifican aquellos sitios que, al ofrecer menor resistencia al movimiento de las especies (i.e. fricción), optimizan la conectividad en el paisaje. El procedimiento parte de la propuesta de Céspedes et al. (2008). El modelo asume que la dificultad de movimiento más alta se da en aquellas áreas donde la cobertura existente o las actividades que se desarrollan se alejan más de la condición natural. Es de esperar, por ejemplo, que las áreas con altas densidades de población y/o con zonas de alto tránsito vehicular imponen las mayores dificultades, en tanto que las áreas de cobertura natural inalterada, con nula o muy baja densidad de población, presentan las menores dificultades. En el modelo, los valores de dificultad se determinan en función de cuatro factores: cobertura del suelo, red fluvial, densidad de poblados y red de carreteras. La valoración del grado de dificultad al movimiento para cada una de las variables se asigna con base en el criterio experto y el conocimiento ecológico disponible.

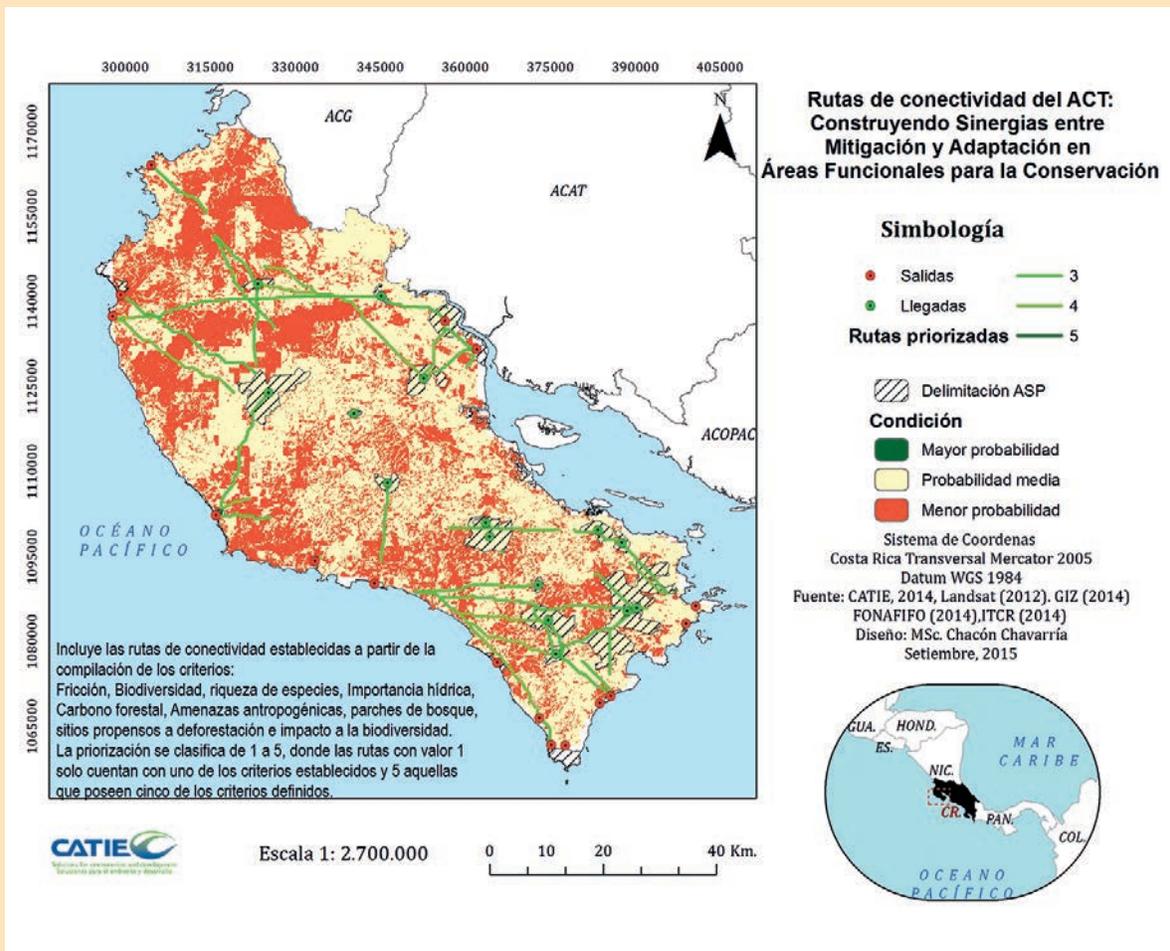
En un segundo nivel de priorización, se ponderan los valores de cada una de las variables utilizadas (1-5). A partir de las funciones de reducción del costo antes mencionadas, el modelo selecciona aquellos píxeles en donde se cumplen diferentes reglas que logran la optimización del espacio bajo análisis. Así, por ejemplo, el modelo identificará aquellos píxeles donde el carbono total sea máximo (i.e. un valor de 5), la conectividad sea máxima (i.e. la fricción sea menor) y las probabilidades de deforestación sean máximas (i.e. para priorizar sitios para proyectos REDD+).

Una vez definidas estas áreas prioritarias que cumplen con los objetivos de las sinergias (i.e. maximizar los beneficios esperados de la adaptación de la biodiversidad y la mitigación al cambio climático) es necesario definir los límites finales de intervención (Paso 10). Se espera que dentro de las AFC priorizadas se establezcan o se continúen procesos de gestión que cumplan con los objetivos de las sinergias. En consecuencia, es necesario un proceso de planificación basado en estas plataformas de gobernanza.

### Recuadro 11. Identificación de sitios para la implementación de estrategias que maximicen las sinergias entre mitigación y adaptación en áreas funcionales para la conservación de la biodiversidad en el Área de Conservación Tempisque, Costa Rica

El mapa adjunto muestra la aplicación de la metodología esbozada en este documento y aplicada por medio de algoritmos desarrollados en un SIG con los datos que se detallan en los Recuadros 3-10. Se muestran las zonas prioritarias en donde se maximizan los beneficios de la adaptación para la biodiversidad y la mitigación al cambio climático.

Las áreas seleccionadas han sido priorizadas a partir de cinco criterios: reservas de carbono, biodiversidad, probabilidad de deforestación, impactos del cambio climático y fricción. Es decir que las áreas priorizadas son aquellas que contienen mayores cantidades de carbono en la biomasa, donde es posible encontrar mayor biodiversidad y mejores condiciones para la movilidad de especies (aun en condiciones de cambio climático), donde los impactos al cambio climático son menores y la probabilidad de deforestación es alta. Nótese que el AFC integraría las áreas protegidas y otros parches importantes de bosque, por lo que su gestión debe considerar el resto del paisaje.



### **Paso 10** **Definición de los** **límites del AFC**

El punto de partida para definir los límites es identificar en un mapa los sitios priorizados. Las zonas núcleo del AFC corresponden a las reservas de carbono (Paso 1) y los sitios de importancia para la biodiversidad (Paso 2); las zonas de interconexión corresponden a las redes ecológicas de conectividad (Paso 6). Posteriormente, con el apoyo de actores locales, se identifican en el mapa otros puntos de interés para los pobladores locales, tales como sitios de aprovisionamiento de servicios ecosistémicos.

Una vez identificados todos los elementos en el mapa, el grupo de actores debe trazar los límites del AFC

utilizando los elementos del Recuadro 12. Los criterios que se suelen utilizar como referencia son los biofísicos, políticos, sociales, económicos, de gestión del territorio. A la hora de diseñar una AFC es importante que en el proceso participe la mayor cantidad de actores posible. Asimismo, es importante tener objetivos claros y consensuados sobre el para qué se desea establecer esta AFC (Canet-Desanti 2007).

Este es un proceso interactivo y dinámico. En esta escala de planificación, los límites deben permitir la implementación de acciones y la integración de actores, por lo que debe manejarse con algún grado de flexibilidad. Existen opciones, a nivel de sistemas de información geográfica, que combinan información de carácter biofísico e inclusive socioeconómico. Tales métodos pueden utilizarse en combinación con los criterios detallados en el Recuadro 12.

#### **Recuadro 12. Algunos criterios utilizados para la definición de límites en las áreas funcionales para la conservación en el Área de Conservación Tempisque, Costa Rica**

- Presencia de una matriz con un porcentaje favorable de cobertura natural apta para restablecer la conectividad.
- Concepto de cuenca hidrográfica (nacientes, ríos, lagos, humedales).
- Patrones migratorios de especies de interés para la conservación.
- Amplio gradiente altitudinal que permita la adaptabilidad de la flora y fauna silvestres al cambio climático.
- Utilización de límites naturales (ríos, divisoria de aguas, cuencas hidrográficas, montañas).
- Utilización de límites cantonales, subregionales, u otro límite administrativo.
- Inclusión del rango de acción de las organizaciones involucradas en la gestión del AFC.

Fuente: Canet-Desanti (2007)

## Consideraciones finales

El procedimiento definido para el diseño de áreas funcionales que aseguren la sinergia entre adaptación y mitigación a nivel de paisaje es una opción adicional a otras iniciativas de planificación, tanto a escala nacional como subnacional.

La implementación de la propuesta de priorización puede contribuir al análisis del cumplimiento de las metas Aichi definidas en el Plan Estratégico 2011-2020 del CDB en el 2010. Específicamente, esta propuesta puede contribuir al diseño de acciones para el cumplimiento de metas relacionadas con la reducción de la degradación y la pérdida de biodiversidad (Meta 5), con el manejo sostenible de los bosques (Meta 7), y con la meta relacionada con el mejoramiento de la resiliencia de los ecosistemas y la contribución de la biodiversidad a las reservas de carbono, las cuales deben ser abordadas a través de la conservación y la restauración. Estas metas deben reflejarse en las estrategias nacionales para la conservación de la biodiversidad, o en instrumentos estratégicos específicos. La estrategia desarrollada en Costa Rica, por ejemplo, integra en forma explícita la necesidad de diseñar e implementar acciones que consideren las sinergias entre la adaptación y la mitigación al cambio climático (BID et al. 2015).

Adicionalmente, la propuesta metodológica puede ser empleada en la priorización de proyectos REDD+, ya que se toma en cuenta el carbono almacenado y, además, porque el modelo da prioridad a aquellos sitios donde se maximiza la deforestación. Uno de los objetivos fundamentales de estos proyectos es disminuir la deforestación, minimizar las amenazas y maximizar algunos cobeneficios (p.e. la biodiversidad).

Adicionalmente, las AFC a escala de paisaje ayudan a fortalecer plataformas de gobernanza ya instaladas, que pueden representar una oportunidad para el éxito de los proyectos REDD+; este beneficio ya ha sido probado en Costa Rica.

La herramienta desarrollada puede servir en el proceso de planificación de territorial –corredores biológicos o de conservación, reservas de biosfera o sitios de Patrimonio Mundial declarados por la Unesco. Inclusive, puede ayudar en procesos de planificación sistemática para la conservación de la biodiversidad o en planes de ordenamiento territorial (Herrera y Finegan 2008). La propuesta conceptual y metodológica desarrollada, por lo tanto, sugiere y promueve la integración de nuevos objetivos de manejo que pueden cumplir dichas áreas.

Los insumos necesarios para el diseño de una AFC pueden modificarse o sustituirse según la disponibilidad de información. Lo relevante es que las variables utilizadas (i.e. *proxys*) representen los componentes fundamentales del modelo desarrollado: biodiversidad, oportunidades de adaptación y mitigación, vulnerabilidad de la biodiversidad. Si, por ejemplo, se cuenta con información detallada de la biodiversidad, es conveniente incorporarla al modelo, siempre y cuando se mantenga la coherencia espacial entre las diferentes fuentes de información. Lo mismo sucede con los datos del carbono almacenado en la biomasa.

Adicionalmente, el proceso de diseño podría incluir un mecanismo de ponderación de la información que permita dar diferentes pesos a las variables utilizadas, dependiendo de la generación de criterios de

diferenciación. Por ejemplo, la variable relacionada con el almacenamiento de carbono podría resultar de mayor peso en el modelo de diseño debido a su importancia en el mantenimiento de procesos ecológicos fundamentales del bosque.

Un paso que parece obvio luego del diseño de estas unidades funcionales es la puesta en marcha de un proceso de desarrollo e implementación de las estrategias necesarias para asegurar que se cumpla con los objetivos de conservación y desarrollo sostenible, definidos para mantener las capacidades de adaptación y mitigación y las sinergias en el AFC respectiva. Estas estrategias pueden aplicarse a diferentes escalas, tanto para el paisaje como un todo, para componentes del mismo, o a escala local. Las acciones a escala local, sin embargo, deben articularse para que cumplan con

los objetivos a escala de paisaje y se mantengan los procesos que sostienen las sinergias entre adaptación y mitigación.

Un paso adicional que queda pendiente –el cual es de importancia en el tema de sinergias entre adaptación y mitigación en el uso de la tierra– es el desarrollo de métricas de evaluación objetiva y sistemática. Además, aunque a nivel internacional aún no existe claridad en cuanto a cómo articular las iniciativas de mitigación y adaptación, el abordaje del tema de sinergias desde una perspectiva nacional significa una oportunidad real. En este sentido, la coordinación de acciones a escala nacional, con enfoques programáticos vinculados a las políticas de biodiversidad, podría ayudar en la alineación de prioridades nacionales en estos temas.

# Literatura citada

- Adger, WN; Agrawala, S; Mirza, MMQ; Conde, C; O'Brien, K; Pulhin, J; Pulwarty, R; Smit, B; Takahashi, K. 2007. Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. In Parry, ML; Canziani, OF; Palutikof, JP; van der Linden, PJ; Hanson, CE. (Eds.). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the IPCC*. Cambridge, US, Cambridge University Press. p. 717-743.
- Andrade, A; Córdoba, R; Dave, R; Girot, P; Herrera- F, B; Munroe, R; Oglethorpe, J; Pramova, E; Watson, J; Vergara, W. 2011. Principios y lineamientos para la integración del enfoque basado en ecosistemas en el diseño de proyectos y políticas de adaptación. (Documento para discusión). Nairobi, Kenia, CEM/UICN, CATIE.
- Andrade-Pérez, A; Herrera-Fernández, B; Cazzola-Catti, R. 2010. Building resilience to climate change: ecosystem based adaptation and lessons from the field. Gland, Switzerland, IUCN. 164 p.
- Arias, E; Chacón, O; Herrera, B; Induni, G; Acevedo, H; Coto, M; Barborak, JR. 2008. Las redes de conectividad como base para la planificación de la conservación de la biodiversidad: propuesta para Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente* 54: 37-43.
- Ayers, JM; Huq, S. 2009. The value of linking mitigation and adaptation: A case study of Bangladesh. *Environmental Management* 43: 753-764.
- Bellard, C; Bertelsmeier, C; Leadley, P; Thuiller, W; Courchamp, F. 2012. Impacts of climate change on the future biodiversity. *Ecology Letters* 2012.
- Bennett, AF. 1998. Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation. Cambridge, US, IUCN Forest Conservation Programme. 254 p.
- Bergkamp, G; Orlando, B; Burton, I. 2003. Change: adaptation of water management to climate change. Gland, Switzerland, IUCN. 53 p.
- Berry, P. 2008a. Introduction to mitigation, adaptation and biodiversity. In Berry, P; Paterson, J; Cabeza, M; Dubuis, A; Guisan, A; Jäätelä, L; Kühn, I; Midgley, G; Musche, M; Piper, J; Wilson, E. (Eds.). *Mitigation measures and adaptation measures and their impacts on biodiversity*. Oxford, UK, University of Oxford. p. 10-19.
- Berry, P. 2008b. Synthesis of interactions between mitigation, adaptation and biodiversity. In Berry, P; Paterson, J; Cabeza, M; Dubuis, A; Guisan, A; Jäätelä, L; Kühn, I; Midgley, G; Musche, M; Piper, J; Wilson, E. (Eds.). *Mitigation measures and adaptation measures and their impacts on biodiversity*. Oxford, UK, University of Oxford. p. 300-320.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2015. Actualización y rediseño de dos medidas de conservación para la adaptación del sector biodiversidad ante el cambio climático: Informe Final. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 106 p.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo); MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR); SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR); DDC (Dirección de Cambio Climático). 2015. Estrategia y plan de acción para la adaptación del sector biodiversidad de Costa Rica al cambio climático (2015-2025). San José, Costa Rica. 107 p.
- Biringer, J; Guariguata, MR; Locatelli, B; Pfund, J; Spanger-Siegfried, E; Suarez, AG; Yeamanand, S; Jarvis, A. 2005. Biodiversity in a changing climate: a framework for assessing vulnerability and evaluating practical responses. In: Robledo, C; Kanninen, M; Pedroni, L. (Eds.) *Tropical forests and adaptation to climate change: in search of synergies*. Bogor, Indonesia, CIFOR. p. 154-183.
- Boding, B; Ravillous, C; Bastianelli, C; Mant, R. 2014. Synergies between REDD+ and the Aichi biodiversity targets in Central Africa: How spatial analysis can support the planning of forest policies for climate and biodiversity objectives. Cambridge, US, UNEP-WCMC. 35 p.
- Canet-Desanti, L. 2007. Herramientas para el diseño, gestión y monitoreo de corredores biológicos en Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 217 p.

- CBD (Secretariat of the Convention on Biological Diversity). 2009. Connecting biodiversity and climate change mitigation and adaptation: Report of the second ad hoc technical expert group on biodiversity and climate change. Montreal, Canada. Technical Series No. 41. 126 p.
- CDB (Secretariat of the Convention on Biological Diversity). 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Montreal, Canadá. 30 p.
- Céspedes, MV; Finegan, B; Herrera, B; Delgado, LD; Velásquez, S; Campos, JJ. 2008. Diseño de una red ecológica de conservación entre la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa, Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente no. 54: 44-50.
- Cifuentes, M. 2010. ABC del cambio climático en Mesoamérica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 71 p. (Serie técnica. Informe Técnico no. 383).
- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 1992. "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático". Nueva York, EEUU, Naciones Unidas. 26 p.
- Corrêa do Carmo, AP; Finegan, B; Harvey, CA. 2001. Evaluación y diseño de un paisaje fragmentado para la conservación de la biodiversidad. Revista Forestal Centroamericana 34: 35-41.
- Dang, HH; Michaelowa, A; Tuan, DD. 2003. Synergy of adaptation and mitigation strategies in the context of sustainable development: the case of Vietnam. Climate Policy 3S1: S81-S96
- Dawson, TP; Jackson, ST; House, JI; Prentice IC; Mace, GM. 2011. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. Science 332: 53-58.
- Drake, BG; Hughes, L; Johnson, EA. 2005. Synergistic effects. In Lovejoy, TE; Hannah, L. (Eds.). Climate change and biodiversity. Michigan, USA, Yale University Press. p. 296-316.
- Dudley, N. (Eds.). 2008. Guidelines for applying protected area management categories. Gland, Switzerland, IUCN. 86 p.
- Dudley, N; Stolton, S. 2003. Ecological and socio-economic benefits of protected areas dealing with climate change. In Hansen, LJ; Biringer, JL; Hofman, JR (Eds.). Buying time: A user's manual for building resistance and resilience to climate change in natural systems. EEUU, WWF. p. 217-234.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation biodiversity. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics 34: 487-515.
- Füssel, HM. 2007. Vulnerability: A general applicable conceptual framework for climate change research. Global Environment Change 17: 155-167.
- Ganzhorn, SM; Perez-Sweeney, B; Thomas, WW; Gaiotto, FA; Lewis, JD. 2015. Effects of fragmentation on density and population genetics of a threatened tree species in a biodiversity hotspot. Endang. Sp. Res. 26: 189-199.
- GIZ (Agencia Alemana de Cooperación Técnica). 2015. Banco de datos regional sobre los recursos forestales. <http://www.reddccadgiz.org/showPageSecond.php?id=41&Url=&thisPage=2013Aplicaciones.php>
- Glick, P; Stein, BA; Edelson, NA. 2011. Scanning the conservation horizon: a guide to climate change vulnerability assessment. Washington, DC, National Wildlife Federation.
- Granizo, T; Castro, M. 2006. Estrategias. En: Granizo, T; Molina, ME; Secaira, E; Herrera, B; Benítez, S; Maldonado, O; Libby, M; Arroyo, P; Isola, S; Castro, M. (Eds.). Manual de planificación para la conservación de áreas. Quito, Ecuador, TNC / USAID. 206 p.
- Groves, C. 2003. Drafting a conservation blueprint: A practitioner's guide to planning for biodiversity. Washington, DC, Island Press. 457 p.
- Groves, CR; Game, ET; Anderson, MG; Cross, M; Carolyn, E; Ferdaña, Z; Girvetz, E; Gondor, A; Hall, KR; Higgins, J; Marshall, R; Popper, K; Schill, S; Shafer, SL. 2012. Incorporation of climate change into systematic conservation planning. Biodiversity and Conservation 21(7): 1651-1671.
- Hannah, L; Lovejoy, TE; Schneider, SH. 2005. Biodiversity and climate change in context. In Lovejoy, TE; Hannah, L. (Eds.). Climate change and biodiversity. Michigan, USA, Yale University Press. p. 3-14.
- Heinz Center. 2008. Strategies for managing the effects of climate change on wildlife and ecosystems. Washington, D.C. 43 p.
- Heller, N; Zavaleta, ES. 2009. Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. Biological Conservation 142: 14-32.
- Herrera, B; Corrales, L. 2004. Manual para la evaluación y monitoreo de la integridad ecológica en áreas protegidas. Ciudad de Guatemala, PROARCA. Serie Monitoreo y Efectividad de Manejo de Áreas Protegidas, vol. 2.
- Herrera, B; Finegan, B. 2008. La planificación sistemática como instrumento para la conservación de la biodiversidad: experiencias recientes y desafíos en Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente 54(4): 13-20.
- Herrera, JM. 2010. El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad en hábitats fragmentados: de la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación. Ecosistemas 20(2): 21-34.
- Herrera-F, B. 2010. Lineamientos técnicos para el desarrollo de la visión estratégica del Corredor Biológico del Caribe Hondureño. Informe Final. La Ceiba, Honduras, Asistencia Técnica Internacional-CATIE. sp.
- Hopkings, JJ; Allison, HM; Walmsley, CA; Gaywood, M; Thurgate, G. 2007. Conserving biodiversity in a changing climate: guidance on building capacity to adapt. London, DEFRA. 28 p.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Cambio climático 2001: impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes del grupo de trabajo II. Ginebra, Suiza. 95 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos I, II, III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre cambio climático. Pachuari, RK; Reisinger, A. (Eds.). Ginebra, Suiza. 104 p.
- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2014. Atlas digital de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 1 DVD.
- Jagger, P; Lawlor, K; Brockhaus, M; Gebara, M; Sonwa, D; Resosudarmo, I. 2012. REDD+ safeguards in national policy discourse and pilot projects. In Angelsen, A; Brockhaus, M; Sunderlin, WD; Verchot, LV. (Eds.). *Analysing REDD+: Challenges and choices*. Bogor, Indonesia, CIFOR. 301-316.
- Jones, L. 2010. Overcoming social barriers to adaptation. London, UK, ODI. Background Note. 7 p.
- Karl, T; Trenberth, KE. 2005. What is climate change? In Lovejoy, TE; Hannah, L. (Eds.). *Climate change and biodiversity*. Michigan, USA, Yale University Press. p. 15-28.
- Klein, RJT; Huq, S; Denton, F; Downing, TE; Richels, RG; Robinson, JB; Toth, FL. 2007. Inter-relationships between adaptation and mitigation. In Parry, ML; Canziani, OF; Palutikof, JP; van der Linden, PJ; Hanson, CE. (Eds.). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge, US, Cambridge University Press. p. 745-777.
- Klein, RJT; Schipper, ELF; Dessai, S. 2005. Integrating mitigation and adaptation into climate change and development policy: Three research questions. *Environmental Science and Policy* 8: 579-588.
- Lange, HJ; Sala, S; Vighi, M; Faber, JH. 2010. Ecological vulnerability in risk assessment: a review and perspectives. *Science of the total environment* 408(18): 3871-3879.
- Leonard, S; Locatelli, B; Murdivarso, D; Martius, C; Quina, M; Baral, H. 2016. A match made in Paris: Adaptation-mitigation synergies in the land sector. Bogor, Indonesia, CIFOR. Infobrief 137. 4 p.
- Lin, L; Subhrendu, K; Pattanayak, E; Sills, O; Sunderlin, WD. 2012. Site selection for forest carbon projects. In Angelsen, A; Brockhaus, M; Sunderlin, WD; Verchot, LV. (Eds.). *Analyzing REDD+: Challenges and choices*. Bogor, Indonesia, CIFOR. p. 209-230.
- Locatelli, B. 2011. Synergies between adaptation and mitigation in a nutshell. Bogor, Indonesia, CIFOR. COBAM Brief. 4 p.
- Locatelli, B; Evans, V; Wardell, A; Andrade, A; Vignola, R. 2011. Forests and climate change in Latin America: Linking adaptation and mitigation. *Forests* 2: 431-450.
- Locatelli, B; Fedele, G; Fayolle, V; Baglee, A. 2016. Synergies between adaptation and mitigation in climate change finance. *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 8(1): 112-128.
- Lovejoy, TE. 2005. Conservation with a climate change. In Lovejoy, TE; Hannah, L. (Eds.). *Climate change and biodiversity*. Michigan, USA, Yale University Press. p. 325-328.
- Magrin, G; García, CG; Cruz Choque, D; Giménez, JC; Moreno, AR; Nagy, GJ; Nobre, C; Villamizar, A. 2007. Latin America. In Parry, ML; Canziani, OF; Palutikof, JP; van der Linden, PJ; Hanson, CE. (Eds.). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge, US, Cambridge University Press. p. 581-615.
- Marshall, NA; Marshall, PA; Tamelander, J; Obura, D; Mallere-King, D; Cinner, JE. 2009. A framework for social adaptation to climate change; sustaining tropical coastal communities and industries. Gland, Switzerland, IUCN. 36 p.
- Matocha, J; Schroth, G; Hills, T; Hole, D. 2012. Integrating climate change adaptation and mitigation through agroforestry and ecosystem conservation. In: Nair, PKR; Garrity, D. (Eds.). *Agroforestry: The future of global land use*. *Advances in Agroforestry* 9: 105-126.
- Mawdsley, JR; O'Malley, R; Ojima, DS. 2009. A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conservation Biology* 23(5): 1080-1089.
- Miko, L. 2007. Protección de la biodiversidad y adaptación al cambio climático: dos caras de la misma moneda. *Natura* 2000(22): 3-10.
- Mills, E. 2007. Synergisms between climate change mitigation and adaptation: an insurance perspective. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12: 809-842.
- Moreno, CE. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza, España, SEA. M&T- Manuales y Tesis vol. 1. 84 p.
- Moser, S. 2012. Adaptation, mitigation, and their disharmonious discontents: an essay. *Climatic Change* 111:165-175.
- NRMMC (Natural Resource Management Ministerial Council, AU). 2004. National biodiversity and climate change action plan 2004-2007, Canberra, Australia Government, Department of the Environment and Heritage.
- Parmesan, C. 2005. Biotic response: Range and abundance changes. In Lovejoy, TE; Hannah, L. (Eds.). *Climate change and biodiversity*. Michigan, USA, Yale University Press. p. 325-328.
- Parry, ML; Canziani, OF; Palutikof, JP; van der Linden, PJ; Hanson, CE. (Eds.). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge, US, Cambridge University Press.

- Paterson, JS; Araújo, MB; Berry, PM; Piper, JM; Rounsevell, MDA. 2008. Mitigation, adaptation and the threat to biodiversity. *Conservation Biology* 22: 1352-1355.
- Perkins, B; Ojima, D; Correll, R. 2007. A survey of climate change adaptation planning. Washington, DC, Heinz Center for Science, Economics and Environment. 52 p.
- Pielke, RJ; Prins, G; Rayner, S; Sarewitz, D. 2007. Lifting the taboo on adaptation. *Nature* 445: 597-598.
- Poiani, KA, Richter, B. 2001. Paisajes funcionales y la conservación de la biodiversidad. EEUU, The Nature Conservancy. 12 p.
- Poiani, KP; Richter, BD; Anderson, MG; Richter, HE. 2000. Biodiversity conservation at multiple scales: Functional sites, landscapes and networks. *Bioscience* 50: 133-146.
- Poorter, L; van der Sande, MT; Thomson, J; Arets, EJMM; Alarcon, A; Alvarez-Sánchez, J; Ascarrunz, N; Barajas-Guzmán, G. 2015. Diversity enhances carbon storage in tropical forests. *Global Ecology and Biogeography* DOI: 10.1111/geb.12364.
- Primack, R; Rozzi, R; Feinsinger, P; Dirzo, R; Massardo, F. 2001. Fundamentos de conservación biológica: perspectivas latinoamericanas. México, Fondo de Cultura Económica. 797 p.
- Ranganathan, J; Bennett, K; Raudsepp-Hearne, C; Lucas, N; Irwin, F; Zurek, M; Ash, N; West, P. 2008. Ecosystem services: A guide for decision makers. EEUU, WRI. 96 p.
- Ravindranath, NH. 2007. Mitigation and adaptation synergy in forest sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12: 843-853
- Ravindranath, NH; Fearnside, PM; Makundi, W; Masera, O; Dixon, R. 2000. Forestry sector. In: Methodological and technological issues in technology transfer, a special IPCC report of the Working Group III. Cambridge, US, Cambridge University Press.
- Salafsky, N; Margoluis, R. 1999. Threat reduction assessment: a practical and cost-effective approach to evaluating conservation and development projects. *Conservation Biology* 13(4): 830-841.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 2007. GRUAS II: propuesta de ordenamiento territorial para la conservación de la biodiversidad de Costa Rica. Vol. 1: Análisis de vacíos en la representatividad e integridad de la biodiversidad terrestre. San José, Costa Rica. 100 p.
- Sunderlin, WD; Sills, EO. 2013. Los proyectos REDD+ como combinación de enfoques convencionales y nuevos para la conservación de los bosques. In Angelsen, A; Brockhaus, M; Sunderlin, WD; Verchot, LV. (Eds.). *Analyzing REDD+: Challenges and choices*. Bogor, Indonesia, CIFOR. 199-216.
- Tol, RSJ. 2005. Adaptation and mitigation: Trade-offs in substance and methods. *Environmental Science and Policy* 8: 572-578.
- Vallejo, C; Chacón, M; Cifuentes, M. 2016. Sinergias entre adaptación y mitigación (SAM) al cambio climático en los sectores agrícola y forestal, concepto y propuesta de acción. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 46 p. Serie Técnica/ Boletín Técnico no. 79.
- Verchot, LV; Van Noordwijk, M; Kandji, S; Tomich, T; Ong, C; Albrecht, A; Mackensen, J; Bantilan, C; Anupama, KV; Palm, C. 2007. Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Climate Change* 12: 901-918.
- Wilbanks, TJ. 2005. Issues in developing a capacity for integrated analysis of mitigation and adaptation. *Environmental Science Policy* 8: 541-547.
- Wilbanks, TJ; Kane, SM; Leiby, PN; Perlack, RD; Settle, C; Shogre, JF; Smith, JB. 2003. Possible responses to global climate change: Integrating mitigation and adaptation. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* 45: 28-38.
- Wilbanks, TJ; Leiby, P; Perlack, R; Ensminger, JT; Wright, SB. 2007. Toward an integrated analysis of mitigation and adaptation: some preliminary findings. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12: 713-725.
- Williams, SE; Shoo, LP; Isaac, JL; Hoffmann, AA; Langham, G. 2008. Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change. *PLoS Biology* 6(12) e325: 2621-2626.
- Williamson, TB. 2012. Adapting sustainable forest management to climate change: a framework for assessing vulnerability and mainstreaming adaptation into decision making. Ottawa, Canada. 48 p.
- WWF (World Wildlife Fund). 2015. WWF Living Forests Report: Saving forest at risk. Chapter 5. [http://wwf.panda.org/about\\_our\\_earth/deforestation/forest\\_publications\\_news\\_and\\_reports/living\\_forests\\_report/](http://wwf.panda.org/about_our_earth/deforestation/forest_publications_news_and_reports/living_forests_report/)
- Yohe, G; Strzepek, K. 2007. Adaptation and mitigation as complementary tools for reducing the risk of climate impacts. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 12: 727-739.

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 Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Estado de Acre en Brasil.



Solutions for environment and development  
Soluciones para el ambiente y desarrollo

**Contacto:**

Claudia Vallejo

[claudia.vallejo@catie.ac.cr](mailto:claudia.vallejo@catie.ac.cr)

ISBN: 978-9977-57-664-0

