

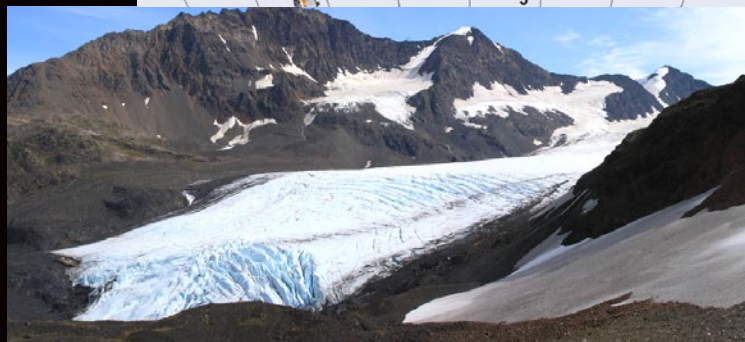
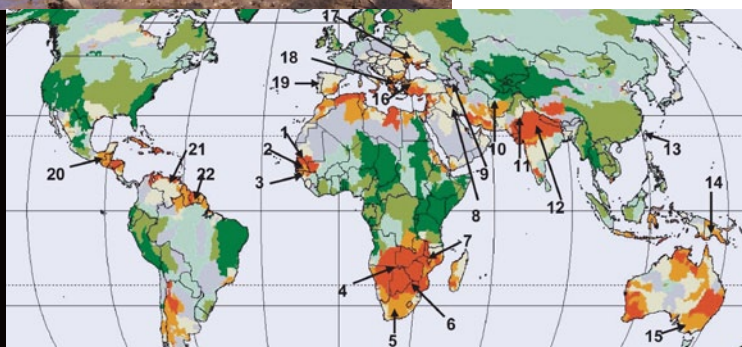


# 50

## ESCENARIOS DE BIODIVERSIDAD: PROYECCIONES PARA EL SIGLO XXI A LOS CAMBIOS DE BIODIVERSIDAD

## Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Reporte técnico para la  
Perspectiva mundial sobre  
la biodiversidad 3



Convenio sobre la  
Diversidad Biológica



PNUMA



WCMC



**DIVERSITAS**  
an international programme  
of biodiversity science



FRB  
FONDATION  
POUR LA RECHERCHE  
SUR LA BIODIVERSITÉ





**Serie técnica del Convenio sobre  
Diversidad Biológica Número 50**

---

## **ESCENARIOS DE BIODIVERSIDAD**

**proyecciones para el siglo XXI a  
los cambios de biodiversidad y  
sus servicios ecosistémicos**

**Reporte técnico para la  
Perspectiva mundial sobre la biodiversidad 3**

---



**Convenio sobre la  
Diversidad Biológica**



**PNUMA**



**WCMC**



**DIVERSITAS**  
an international programme  
of biodiversity science



**FRB**  
FONDATION  
POUR LA RECHERCHE  
SUR LA BIODIVERSITÉ

Las denominaciones empleadas y la presentación de material en esta publicación de ninguna manera representan la opinión de parte de los que tienen los derechos de autor (copyright) en lo que respecta al estado legal de cualquier país, territorio, ciudad o área o sus autoridades, o en lo que respecta a delimitar sus fronteras o límites.

Esta publicación puede ser reproducida con fines educativos o sin fines de lucro, sin permiso un especial, siempre y cuando se reconozca la fuente de donde se obtuvo. La Secretaría del Convenio agradecerá se le envíen copias de cualquier publicación que usen este documento como fuente. El uso de las figuras está sujeto a permiso de quienes tienen los derechos originales.

Publicado por la Secretaría del Convenio sobre Diversidad Biológica

ISBN 92-9225-219-4

Derechos reservados 2010,

Secretaría del Convenio Sobre Diversidad Biológica

**Este documento debe citarse:**

Leadley, P., Pereira, H.M., Alkemade, R., Fernandez-Manjarrés, J.F., Proença, V., Scharlemann, J.P.W., Walpole, M.J. (2010) Escenarios de biodiversidad: proyecciones del siglo XXI a los cambios de biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Secretaría del Convenio sobre Diversidad Biológica, Montreal. Serie Técnica Número 50, 55 páginas.

Para obtener más información por favor ponerse en contacto con:

**Secretaría del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB).**

World Trade Centre

413 St. Jacques, Suite 800

Montréal, Québec, Canada H2Y 1N9

Teléfono: 1 (514) 288 2220

Fax: 1 (514) 288 6588

Dirección electrónica: [secretariat@cbd.int](mailto:secretariat@cbd.int)

Página de internet: [www.cbd.int](http://www.cbd.int)

**Créditos de las fotografías**

Portada (de arriba a abajo): iStockphoto.com;

Eric Gilman; © Center for Environmental Systems Research.

University of Kassel. Octubre 2003-Water GAP 2.1D;

Frank Kovalchek, Flickr.com

Página 1: UN Photo/Ray Witlin

Página 4: courtesy of UNEP

Página 11: Joel Craycraft

Página 38: Kalovstian/UNEP

Página 40: Gaethlich, UNEP-Alpha Presse

Página 48: Anne Larigauderie

Formación: Em Dash Design

## ESTE DOCUMENTO FUE PREPARADO POR:

### Autores principales

Paul Leadley, *Université Paris-Sud 11/CNRS/ AgroParisTech, Francia*

Henrique Miguel Pereira, *Universidade de Lisboa, Portugal*

Rob Alkemade, *Netherlands Environmental Assessment Agency, Holanda*

Juan F. Fernandez-Manjarrés, *CNRS/Université Paris-Sud 11/ AgroParisTech, Francia*

Vânia Proença, *Universidade de Lisboa, Portugal*

Jörn P.W. Scharlemann, *United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre, Reino Unido*

Matt J. Walpole, *United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre, Reino Unido*

### Autores que contribuyeron

John Agard, *The University of The West Indies, Trinidad y Tobago*

Miguel Araújo, *Museo Nacional de Ciencias Naturales, España*

Andrew Balmford, *University of Cambridge, Reino Unido*

Patricia Balvanera, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*

Oonsie Biggs, *Stockholm University, Suecia*

Laurent Bopp, *Institute Pierre Simon Laplace, Francia*

Stas Burgiel, *Global Invasive Species Programme, EUA*

William Cheung, *University of British Columbia, Canadá*

Philippe Ciais, *Laboratory for Climate Sciences and the Environment, Francia*

David Cooper, *CDB, Canadá*

Joanna C. Ellison, *University of Tasmania, Australia*

Juan F. Fernandez-Manjarrés, *Université Paris-Sud 11, Francia*

Joana Figueiredo, *Universidade de Lisboa, Portugal*

Eric Gilman, *Global Biodiversity Information Facility Secretariat, Dinamarca*

Sylvie Guénette, *University of British Columbia, Canadá*

Robert Hoft, *CDB Secretariat, Canadá*

Bernard Hugué, *IRD, Muséum National d'Histoire Naturelle, Francia*

George Hurtt, *University of New Hampshire, EUA*

Henry P. Huntington, *EUA*

Michael Jennings, *University of Idaho, EUA*

Fabien Leprieux, *IRD, Muséum National d'Histoire Naturelle, Francia*

Corinne Le Quééré, *University of East Anglia, Reino Unido*

Georgina Mace, *Imperial College, Reino Unido*

Cheikh Mbow, *Université Cheikh Anta Diop, Senegal*

Kieran Mooney, *CDB Secretariat Aude Neuville, European Commission, Bélgica*

Carlos Nobre, *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil*

Thierry Oberdorff, *IRD, Muséum National d'Histoire Naturelle, Francia*

Carmen Revenga, *The Nature Conservancy, EUA*

James C. Robertson, *The Nature Conservancy, EUA*

Patricia Rodrigues, *Universidade de Lisboa, Portugal*

Juan Carlos Rocha Gordo, *Stockholm University, Suecia*

Hisashi Sato, *Nagoya University, Japan*

Bob Scholes, *Council for Scientific and Industrial Research, Sudafrica*

Mark Stafford Smith, *CSIRO, Australia*

Ussif Rashid Sumaila, *University of British Columbia, Canadá*

Pablo A. Tedesco, *IRD, Muséum National d'Histoire Naturelle, Francia*

DIVERSITAS (un programa científico internacional sobre la biodiversidad) y el PNUMA-WCMC coordinaron esta síntesis para la Secretaría de la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB) como una contribución a la Tercera perspectiva mundial sobre la biodiversidad (GBO3 por sus siglas en inglés). Paul Leadley es el presidente. Rob Alkemade y Miguel Araujo son miembros del comité científico del proyecto central de DIVERSITAS *bioDISCOVERY*. Georgina Mace y Bob Scholes son vicepresidentes y David Cooper es miembro del comité científico de DIVERSITAS.

Los autores principales desean agradecerle a Lucy Simpson por organizar el taller. A Anna Chenery y Francine Kershaw por su ayuda para obtener los permisos para reproducir las figuras. A Simon Blyth y Gillian Warltier por su ayuda para la lectura de pruebas y a Kieran Mooney por la búsqueda de fotos.

Este estudio fue financiado por el Departamento del Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido con ayuda financiera adicional de la Comisión Europea y el PNUMA. Los puntos de vista expresados aquí de ninguna manera pueden ser tomados para reflejar la opinión oficial de estos organismos o del Convenio sobre Diversidad Biológica.



# CONTENIDO

<b>Resumen ejecutivo</b> .....	7
<b>Resumen técnico de la síntesis de los escenarios de la biodiversidad</b> .....	11
Sistemas terrestres .....	11
Sistemas de agua dulce .....	28
Sistemas marinos .....	33
<b>El futuro de los modelos y escenarios de la biodiversidad</b> .....	38
<b>Notas finales</b> .....	40
<b>Lista de acrónimos</b> .....	47
<b>Referencias</b> .....	48
RECUADRO 1. ¿Qué es un punto de inflexión y por qué son importantes?.....	12
RECUADRO 2. Tundra ártica .....	20
RECUADRO 3. Bosque mediterráneo.....	20
RECUADRO 4. Selva amazónica.....	21
RECUADRO 5. África occidental: El Sahara, Sahel y la región de Guinea .....	22
RECUADRO 6. Miombo arbolado.....	23
RECUADRO 7. Especies invasoras en islas .....	24
RECUADRO 8. Sistemas costeros terrestres y aumento del nivel del mar.....	26
RECUADRO 9. Derretimiento de glaciares y nieve.....	28
RECUADRO 10. Eutrofización de los lagos.....	30
RECUADRO 11. Pesquerías marinas .....	33
RECUADRO 12. Arrecifes de coral tropicales .....	34
RECUADRO 13. Fitoplancton marino .....	36
RECUADRO 14. Océano Ártico.....	37

FIGURA 1.	Mapa de distribución de los puntos de inflexión de importancia mundial.....	11
FIGURA 2.	Tasas de extinción históricas y escenarios proyectados para el siglo XXI.....	12
FIGURA 3.	Cambios de cobertura terrestre proyectados para 2100 y su impacto en las aves .....	15
FIGURA 4.	Cambios en el área y diversidad de plantas vasculares proyectados para cada bioma al 2050.....	15
FIGURA 5.	Cambios observados y escenarios proyectados de la abundancia de las especies terrestres para 2050.....	16
FIGURA 6.	Estimación de los cambios históricos en la abundancia de especies terrestres y comparaciones con los cambios proyectados bajo distintas políticas de sustentabilidad para 2050 .....	17
FIGURA 7.	Cambios en la extensión de los bosques proyectados para 2050 bajo diferentes escenarios mundiales.....	17
FIGURA 8.	Cambios en la mayoría de los tipos de vegetación debido al cambio climático proyectados para el 2100.....	18
FIGURA 9.	Cambios en la cobertura vegetal de especies de árboles y herbáceas proyectados de 1860 a 2099.....	19
FIGURA 10.	Relación entre los cambios en las abundancias de las especies y servicios ecosistémicos proyectados de 2000 a 2050 .....	25
FIGURA 11.	Modelo del impacto de tres esquemas de conservación de biodiversidad global sobre los servicios ecosistémicos .....	25
FIGURA 12.	Cambios en la disponibilidad de agua proyectados para 2100.....	29
FIGURA 13.	Extinción de especies de peces proyectada al 2100 a partir de la disminución en los caudales de los ríos debido al cambio climático y a la extracción de agua .....	29
FIGURA 14.	Población que estará viviendo en las cuencas de los ríos que enfrentan graves tensiones por agua proyectado del 2000 al 2050.....	31
FIGURA 15.	Cambios en la carga total de nitrógeno estimados para 1970-1995 y 1995-2030.....	31
FIGURA 16.	Proyecciones al 2050 sobre biodiversidad marina en el océano Pacífico.....	32
FIGURA 17.	Temperatura, concentraciones de CO <sub>2</sub> atmosférico e iones de carbonato en los últimos 420,000 años y posibles escenarios futuros para los arrecifes de coral .....	33
FIGURA 18.	Frecuencia de blanqueamiento de los arrecifes de coral del Caribe y del Indo-Pacífico proyectado al 2050-2059.....	34
FIGURA 19.	Proyecciones de los cambios en la biodiversidad marina debido al cambio climático.....	35





# 1. RESUMEN EJECUTIVO

Esta síntesis se enfoca en las estimaciones de los cambios en biodiversidad de acuerdo a las proyecciones de los modelos para el siglo XXI o con base en extrapolaciones a partir de experimentos y tendencias observadas. El término *biodiversidad* se usa en el sentido amplio de acuerdo a la definición del Convenio sobre Diversidad Biológica para referirse a la abundancia y distribución de genotipos, especies, comunidades, ecosistemas y biomas, así como a las interacciones entre ellas. Esta síntesis pone particular atención en las interacciones entre la diversidad y los servicios ecosistémicos y en los “puntos de inflexión” críticos que pueden llevar a cambios grandes y rápidos que sean potencialmente irreversibles. Las comparaciones entre los modelos se utilizan para estimar toda la amplitud de proyecciones y para identificar las fuentes de incertidumbre. Los experimentos y las tendencias observadas son utilizados para comprobar la verosimilitud de estas proyecciones. Además, hemos identificado las posibles acciones a nivel local, nacional e internacional que pueden ser consideradas para conservar a la biodiversidad. Hemos convocado una gran variedad de científicos para participar en esta síntesis, con el objetivo de proporcionarles a los tomadores de decisiones mensajes que reflejen el consenso de la comunidad científica y que les ayude en el desarrollo de políticas públicas y estrategias de manejo que sean ambiciosas, que vean hacia el futuro y que sean proactivas.

## CONCLUSIONES CLAVE

Las proyecciones de los impactos del cambio global sobre la biodiversidad muestran que las extinciones de especies y la pérdida del hábitat continúan y en muchos casos se aceleran. Además, a lo largo del siglo XXI, habrá cambios en la distribución y abundancia de las especies y biomas.

- ▶ Se desarrollaron modelos para hacer proyecciones que permitan estimar los cambios en el uso del suelo, la explotación de los bosques, selvas y recursos marinos, el aumento en las concentraciones del CO<sub>2</sub> en la atmósfera, el cambio climático y la eutrofización combinados y cuyo resultado demostró cambios significativos en la distribución y abundancia de las especies, grupos de especies y biomas. Muchas de estas transformaciones en la biodiversidad implicarán grandes y por veces muy visibles modificaciones de los ecosistemas tales como la extensa conversión de las selvas tropicales a pastizales y campos de cultivo, la invasión de la tundra por bosque boreal debido al cambio climático, reducciones en la abundancia de depredadores tope de los ecosistemas marinos, etc. Se estima que la abundancia de algunas especies aumentará o ampliarán su distribución, pero la abundancia o el área de distribución de otras disminuirá. Con frecuencia esto llevará a aumentar de manera sustancial su riesgo de extinción.
- ▶ Actualmente el cambio en el uso del suelo, la modificación en el flujo de los ríos, la contaminación de los cuerpos de agua dulce y la explotación de los recursos marinos son los causantes más importantes de los cambios de la biodiversidad y se estima que así siga en el transcurso del siglo en curso. La importancia del cambio climático y la acidificación de los océanos como factores de cambio aumentarán durante el siglo XXI.
- ▶ Algunos escenarios socioeconómicos nuevos apuntan a vías de desarrollo plausibles con bajas emisiones de gases de efecto invernadero y de poca conversión del hábitat que podrían tener impactos muy bajos sobre la biodiversidad que lo que han proyectado estudios previos. Estos escenarios optimistas necesitan de cambios fundamentales en los paradigmas de desarrollo, pero son coherentes con las restricciones que se conocen para llegar a las metas económicas, de uso de recursos y de desarrollo humano.
- ▶ La síntesis de una gran diversidad de escenarios de uso del suelo a nivel mundial y los modelos del impacto del cambio del clima sobre los sistemas terrestres y marinos, demuestran que hay mucha más variación en las estimaciones de la pérdida de biodiversidad en comparación con evaluaciones previas. Además, si las emisiones de gases de efecto de invernadero siguen las trayectorias actuales, diversos modelos del Sistema Terrestre estiman que éstas resultarán en transformaciones de los biomas terrestres y la biota marina, mucho más grandes ocasionadas por el clima, que lo estimado en las anteriores evaluaciones mundiales.

- ▶ Los experimentos, las observaciones y las tendencias actuales o/y los registros paleontológicos, son consistentes con algunas proyecciones de los modelos, como es el caso de la migración de los bosques boreales hacia los polos debido al cambio climático. Pero otras predicciones son más débiles por las tendencias pasadas y presentes, como las extinciones debidas al cambio climático de mitad del siglo, por lo menos para ciertos taxa (como por ejemplo para algunas plantas e insectos).
- ▶ Los cambios proyectados son heterogéneos desde el punto de vista espacial y entre grupos taxonómicos, de tal manera que incluso pérdidas moderadas de la biodiversidad a nivel global, pueden traducirse en pérdidas dramáticas de biodiversidad o en cambios a nivel regional o para determinados grupos de

especies funcionales o para un conjunto de especies vulnerables. Se ha proyectado que los impactos más grandes serán sobre la pérdida de especies y hábitats en las selvas tropicales, los cambios en la tundra de las regiones ártica y la boreal y sobre los cambios dramáticos en la abundancia de especies de muchos de los ecosistemas de agua dulce y marinos.

- ▶ Los rezagos en los conductores socio-económicos, climáticos y biogeoquímicos mundiales, hacen que sea inevitable la aceleración de las transformaciones en la biodiversidad en las próximas décadas, lo que hace necesario que se tomen las medidas necesarias de adaptación y mitigación, mucho antes de que se observen grandes impactos en la biodiversidad que sean inaceptables.

---

Los umbrales, la amplificación de la retroalimentación y los efectos retardados del tiempo que llevan a “puntos de inflexión” están muy extendidos y hacen que los impactos del cambio global sobre la diversidad biológica sea más difícil de predecir, es difícil de controlar una vez que empiezan, y es muy lento y costoso de revertir una vez que se han producido.

- ▶ La existencia de puntos de inflexión, se pueden anticipar con alto grado de confianza, sin embargo, los umbrales específicos aún no se pueden predecir con la precisión adecuada y con una alerta avanzada para que puedan ser abordados sin alto riesgo. Esto aboga por un enfoque preventivo que favorezca las actividades humanas que se conocen como conductoras a la pérdida de biodiversidad.
- ▶ La demanda humana de alimentos, fibras y energía juegan un papel clave en el impulso de muchos de los puntos de inflexión en particular mediante la conversión de ecosistemas naturales y semi-naturales para la agricultura y la sobreexplotación de los recursos marinos. Si bien las evaluaciones globales de la biodiversidad han puesto de relieve la importancia de estos conductores, la importancia potencial de los umbrales, reacciones de amplificación y los efectos retardados de tiempo que lleva a los puntos de inflexión se han subestimado. Por ejemplo, las evaluaciones anteriores de la biodiversidad mundial no han tomado en cuenta la desaparición extremadamente rápida de la capa de hielo polar del ártico, ni la posible muerte de la selva amazónica.
- ▶ Los análisis de los puntos de vuelco indican que el aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico y el cambio climático podría

conducir a transformaciones mayores de niveles de la biodiversidad cercanos o por debajo de los 2° C de calentamiento global definida por el IPCC como “peligroso”. La degradación generalizada de arrecifes de coral, grandes cambios en la estructura de la comunidad de plancton marino, especialmente en el océano Ártico, la invasión extensa de la tundra por los bosques boreales, la destrucción de muchos ecosistemas costeros, etc. se prevé que se produzcan por debajo de este bajo nivel de calentamiento. Debido a los retrasos en los sistemas socio-económicos, biológicos y físicos de la Tierra estas transformaciones serán esencialmente irreversibles en los siglos siguientes.

- ▶ Muchos de los puntos de inflexión se producen debido a complejos mecanismos de retroalimentación o interacciones entre los conductores que no toman en cuenta los modelos actualmente utilizados para proyectar los impactos del cambio global sobre la biodiversidad. Debido a esto, el riesgo de una pérdida catastrófica de biodiversidad como consecuencia de la interacción entre dos o más conductores, como la muerte descendente generalizada de la selva amazónica por las interacciones entre la deforestación y el cambio climático, ha sido subestimada en anteriores evaluaciones de la biodiversidad mundial.

---

En muchos de los casos importantes la degradación de los servicios de los ecosistemas va mano a mano con la extinción de las especies, la disminución de la abundancia de especies, o cambios generalizados en las especies y la distribución de los biomas. Sin embargo, la conservación de la biodiversidad y de algunos servicios de los ecosistemas, especialmente los servicios de aprovisionamiento, a menudo no coinciden.

- ▶ La mayor parte de los puntos de inflexión de la biodiversidad que hemos identificado estarán acompañados por grandes impactos negativos a escala regional o mundial en los servicios de los ecosistemas y el bienestar humano. Por ejemplo, la degradación generalizada e irreversible y la pérdida de los hábitat naturales costeros debido a la contaminación, la destrucción del hábitat, los cambios en la sedimentación y el aumento del nivel del mar estará acompañado por un mayor riesgo de daños en la costa por las olas y las mareas de tempestad y la pérdida de la productividad pesquera de la costa.
- ▶ La pérdida de biodiversidad y la erosión de la capacidad de los ecosistemas para prestar servicios a menudo responden de manera similar a los conductores que comparten, sin embargo, la relación entre ellos no es simple, y puede ser diferente para las diversas dimensiones de la diversidad biológica. Por ejemplo, los vínculos entre la extinción de las especies locales y la reducción de la capacidad para entregar servicios de los ecosistemas siguen siendo, en muchos casos, difíciles de alcanzar.
- ▶ Los experimentos, observaciones y los modelos indican que los cambios en los servicios de los ecosistemas están más estrechamente unidos a los cambios en la abundancia y la distribución de las especies dominantes o piedra angular de la extinción de especies. Esto exige una mayor conciencia de la importancia de los cambios en la distribución de las especies y los cambios en la abundancia local como los principales motores del cambio en los servicios de los ecosistemas. Un análisis global de los cambios en la biodiversidad pueden ocultar grandes cambios locales desproporcionados para algunos grupos funcionales y de especies (por ejemplo, los predadores más importantes) que tienen una fuerte influencia sobre los servicios de los ecosistemas.
- ▶ Mejoras en los servicios de los ecosistemas, especialmente los servicios de aprovisionamiento tales como alimentos, fibras y la producción de energía, puede venir a costa de la pérdida de hábitat, la reducción en la abundancia de las especies y la extinción de especies. Los esfuerzos para maximizar una pequeña gama de estos servicios de aprovisionamiento a corto plazo, típicamente resulta en impactos negativos sobre la biodiversidad e importantes impactos en el regulamiento, el mantenimiento y los servicios culturales de los ecosistemas. Esto exige prudencia en el uso de los servicios de los ecosistemas como un argumento general para la conservación de las especies. También se argumenta a favor de la gestión que sostiene un amplio y equilibrado servicio de los ecosistemas, incluyendo las consideraciones éticas, en lugar de centrarse en los servicios de aprovisionamiento.

---

**Acciones firmes para mitigar los conductores de los cambios en la biodiversidad a nivel internacional, nacional y local y para desarrollar estrategias de manejo para adaptarse, podrían reducir de manera significativa o revertir transformaciones de la biodiversidad indeseables o peligrosas, si aplicadas de manera apropiada, exhaustiva e urgente.**

- ▶ Una de las acciones clave más importantes para minimizar la destrucción de los hábitats terrestres y de agua dulce y para limitar la presión que se ejerce sobre los recursos marinos es aumentar la eficiencia agrícola. Hay un considerable debate en lo que concierne al margen para aumentar la eficiencia agrícola, pero algunos escenarios socio-económicos recientes no necesitan de un aumento neto de tierra cultivada a nivel mundial durante el siglo XXI. Para alcanzar esta meta necesitamos de un crecimiento poblacional limitado, aumentos sustanciales en la productividad agrícola y un uso eficiente de la producción primaria (por ejemplo reducir las pérdidas después de la cosecha, limitar el consumo de carne). Los impactos negativos sobre la biodiversidad, resultantes de la intensificación de la agricultura pueden ser minimizados por medio de prácticas agrícolas apropiadas.
- ▶ La regulación de las pesquerías en aguas internacionales y una mejora en la gobernanza del nivel local a global, son clave para evitar

modificaciones extendidas de las cadenas alimentarias marinas y el colapso de pesquerías importantes. Algunas formas de acuicultura de bajo impacto podrán jugar un papel importante en la preservación de los recursos marinos, pero sin la regulación adecuada la acuicultura lleva y seguirá llevando a problemas ambientales significativos.

- ▶ Es urgente la mitigación del cambio climático como se ha ilustrado en muchos de los análisis de los puntos de inflexión. En particular, la meta de limitar a 2° C el calentamiento global durante el siglo XXI puede alcanzar o superar el umbral de diversos puntos de inflexión, en particular para el Océano Ártico, la tundra ártica y los arrecifes de coral. Sin embargo, se deben evaluar los mecanismos de mitigación del cambio climático por sus posibles impactos en la biodiversidad. Son numerosas las posibles sinergias entre la mitigación del cambio climático y la conservación de la biodiversidad, por ejemplo las negociaciones de la secretaría de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) incluyen un mecanismo para alentar la reducción de emisiones de gases de efecto de invernadero por deforestación y degradación forestal (REDD por sus siglas en inglés) el cual, si es aplicado de la manera apropiada, podría preservar la biodiversidad de las selvas tropicales y reducir, de forma significativa, las emisiones globales de gases de efecto de invernadero.
- ▶ Un despliegue limitado y un manejo apropiado de los biocombustibles podría reducir, de manera sustancial, la competencia entre los ecosistemas y hábitats naturales que son manejados intensivamente. Las tendencias y modelos actuales sugieren que la extensión a gran escala de los biocombustibles dan como resultado cambios negativos netos en la biodiversidad. Algunas estimaciones previas de biodiversidad, han subestimado las oportunidades para reducir los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad en parte porque dependían mucho de los biocombustibles para la mitigación del cambio climático.
- ▶ Si su estado es respetado apropiadamente, las áreas protegidas en tierra y mar son la herramienta más efectiva para conservar la biodiversidad. Las áreas protegidas que ya existen y las nuevas que se crearán, necesitan tomar en cuenta el carácter dinámico de las transformaciones futuras de la biodiversidad, las cuales necesitarán estar integradas de una manera más fortalecida para conservar la biodiversidad dentro y fuera de las áreas protegidas, en especial para los ecosistemas de agua dulce.
- ▶ Los enfoques que se basan en los ecosistemas, pueden contribuir a la mitigación y adaptación al cambio climático y a un desarrollo sustentable más amplio. La planeación considerando el espacio para los servicios ecosistémicos a nivel internacional, nacional y local será un componente importante para los enfoques que se basan en el ecosistema. Sin embargo, debido a que no todos los elementos de la biodiversidad son críticos para los servicios ecosistémicos, en la planeación considerando el espacio, es importante también poner en la mira áreas críticas para proteger a la biodiversidad por sí misma.
- ▶ La restauración ecológica a gran escala, por ejemplo reforestación a gran escala, no ha sido incluida en las proyecciones sobre biodiversidad, pero podría jugar un papel importante para mantener la biodiversidad y la provisión de los servicios ecosistémicos asociados.

---

En las siguientes secciones proporcionamos los detalles que sustentan científicamente las conclusiones que se detallan anteriormente (sección 2) y que resaltan las áreas de investigación en donde se debe progresar significativamente con el fin de mejorar la confianza de los escenarios de biodiversidad (sección 3).

Esto no debe ser utilizado como una excusa para la inacción, dado que hay mayor incertidumbre en las proyecciones de los cambios de la biodiversidad que lo que se ha reconocido en estimaciones globales previas. Nuestro mensaje es el opuesto: consideramos que de continuar con nuestro modelo de desarrollo actual, tendremos un elevado riesgo de pérdida de biodiversidad con la consecuente disrupción de los servicios de los ecosistemas. Sin embargo consideramos también que las oportunidades para la conservación de la biodiversidad son mayores de lo que antes se suponía.

## 2. RESUMEN TÉCNICO DE LA SÍNTESIS DE LOS ESCENARIOS DE LA BIODIVERSIDAD

Esta sección sintetiza los escenarios existentes para los cambios en la biodiversidad a lo largo del siglo XXI. Se enfoca en la respuesta de la biodiversidad a cinco impulsores globales principales: la degradación y destrucción del hábitat, cambio climático, sobrecarga de nutrientes, sobreexplotación de recursos biológicos e intercambio biótico<sup>1</sup>. Utilizamos “biodiversidad” en el sentido amplio, como está definido en el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), lo que quiere decir la abundancia y distribuciones de genotipos, especies, comunidades, ecosistemas, y biomas y sus interacciones, y somos muy cuidadosos en nuestro análisis para identificar cuál de estos componentes es abordado. Además de examinar los posibles impactos del cambio climático sobre la biodiversidad, también hemos identificado las acciones clave que se pueden tomar para disminuir, detener o incluso revertir la pérdida de la biodiversidad.

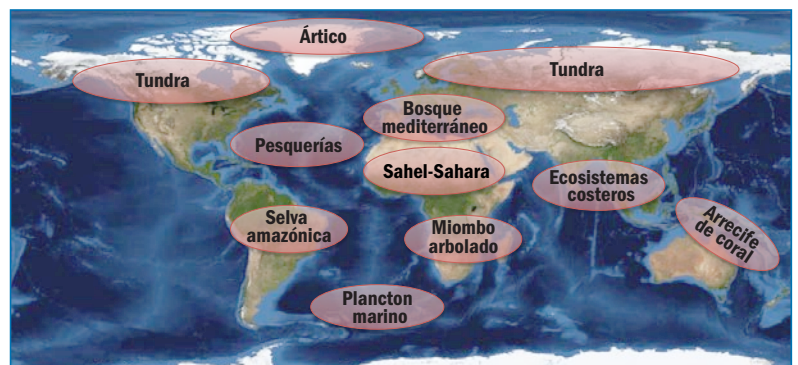
Nuestro trabajo difiere de evaluaciones de escenarios previos, como la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM 2005), las Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 4 (GEO4, UNEP 2007) y la Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 2 (GBO2, CDB 2006), porque se enfoca en sintetizar información de una amplia gama de modelos y escenarios. Las evaluaciones previas se han basado en el marco teórico de un solo modelo para generar escenarios de cambios en la biodiversidad para el siglo XXI, lo que tiene la ventaja de proporcionar proyecciones completamente integradas y coherentes internamente, de los impulsores directos e indirectos de la biodiversidad y sus efectos sobre ésta. La desventaja de usar el marco teórico de un solo modelo, es que puede subestimar la incertidumbre, ya que los modelos difieren mucho entre las suposiciones subyacentes y sus proyecciones de cambios en la biodiversidad. Además, hemos intentado confrontar proyecciones con observaciones y datos experimentales con el fin de evaluar el grado de certeza de las proyecciones del modelo. Nuestra síntesis depende principalmente proyecciones a escalas mundiales y de grandes regiones y,

en la medida de lo posible, se basa en investigación publicada en artículos evaluados por pares y publicados en revistas científicas. Una gran variedad de científicos participó en la preparación de esta síntesis contribuyendo con texto, en especial en lo que respecta a análisis de puntos de inflexión y proporcionando muchos comentarios en previas versiones de esta síntesis.

Esta síntesis de los escenarios de la biodiversidad está organizada en grandes reinos: ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos. Dentro de cada reino presentamos las proyecciones de los modelos para los cambios de biodiversidad a escala global y para tipos de ecosistemas específicos o regiones, enfocándonos en los puntos de inflexión de la biodiversidad (recuadro 1). Nuestro análisis de los puntos de inflexión cubre varias regiones del mundo (figura 1) que son un subconjunto de una lista mucho más amplia de puntos de inflexión potenciales.

### SISTEMAS TERRESTRES

Los modelos de biodiversidad globales estiman que las extinciones de especies terrestres, la pérdida de los hábitats naturales y los cambios en la distribución y en la abundancia de las especies, grupos de especies y biomas, continuará a lo largo de este siglo, teniendo los cambios del uso del suelo como la amenaza principal a corto plazo, y el cambio climático tornándose progresivamente más importante a lo largo de las próximas décadas.



**FIGURA 1** MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN DE IMPORTANCIA MUNDIAL.

El mapa base es de NASA Blue Marble Next Generation, una base de datos derivada de MODIS de 500 m de colores verdaderos. Fuente: [onearth.jpl.nasa.gov/](http://onearth.jpl.nasa.gov/).

## RECUADRO 1. ¿QUÉ ES UN PUNTO DE INFLEXIÓN Y PORQUÉ SON IMPORTANTES LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN?

Se ha usado una definición relativamente amplia de punto de inflexión en el contexto de la síntesis de escenarios del GB03. Incluye situaciones en las que los cambios en el funcionamiento de un ecosistema son lo suficientemente significativos como para tener impactos importantes en la biodiversidad o en los servicios ecosistémicos a escala regional o mundial y que cumplen uno de los siguientes criterios:

1. El efecto total de un factor de cambio global es amplificado por circuitos de retroalimentaciones positivos;
2. Hay una umbral después del cual hay un cambio abrupto que ocurre entre fases alternas de estados ecológicos estables;
3. Los cambios inducidos por el factor son duraderos y difíciles de revertir;
4. Hay un lapso de tiempo significativo entre la dinámica de los factores y la expresión de los impactos, lo que ocasiona grandes dificultades para el manejo ecológico.

Los puntos de inflexión son una gran preocupación para los científicos, administradores y los encargados de la formulación de políticas, debido a sus posibles grandes impactos sobre la biodiversidad, servicios ecosistémicos y bienestar humano y por la dificultad que hay para adaptar los sistemas que van de la mano humanos-medio ambiente a cambios en los regímenes que son rápidos y potencialmente irreversibles. Aunque es casi seguro que en el futuro habrá puntos de inflexión, la dinámica en la mayoría de los casos todavía no se puede predecir con suficiente precisión y alertar con anticipación para permitir que haya las propuestas adecuadas para evitarlos o mitigar sus impactos. Esta realidad aboga por un enfoque precautorio para las actividades humanas que se sabe llevan a la pérdida de la biodiversidad.

Se seleccionaron puntos de inflexión de una diversa, pero no exhaustiva gama de biodiversidad y servicios ambientales. Los puntos de inflexión seleccionados cubren ejemplos de sistemas terrestres, de agua dulce y marinos y difieren en términos de los principales factores de los mecanismos subyacentes y de la extensión de su distribución espacial. No hemos considerado todos los puntos de inflexión potencialmente relevantes para las políticas públicas, y la selección que se presenta no debe ser considerada como una manera de priorizar los puntos de inflexión con respecto a su relevancia para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Esta selección apunta a proporcionar una visión general de los puntos de inflexión de importancia mundial y a llamar la atención sobre estos fenómenos y sus consecuencias. Todas las descripciones de los puntos de inflexión están acompañadas por un diagrama que resume los principales factores y mecanismos que están involucrados. También se muestran imágenes que ilustran la condición actual y el potencial estado futuro.

### IMPACTO DE LOS FACTORES:

Factores (siglas del texto en inglés):

- Cambios en el hábitat (H)
- Cambios en el clima (C)
- Sobreexplotación (O)
- Especies invasoras (I)
- Contaminación (P)

Impactos



Alto

Bajo

### MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN



En general, durante el siglo pasado el cambio en el uso del suelo ha sido el primer impulsor de la pérdida de la biodiversidad terrestre. El cambio del uso del suelo, el cambio climático y, en menor medida, la sobrecarga de nutrientes, han sido seleccionados predominantemente antes que otros factores con el fin de hacer proyecciones para estimar los cambios en la biodiversidad terrestre a escala mundial. Aunque se ha sospechado que los efectos de las especies invasoras y la sobreexplotación son importantes, todavía no han sido explorados debido a la falta de datos adecuados y modelos a nivel global<sup>2</sup>.

Los modelos de la respuesta de la biodiversidad terrestre a los cambios globales varían considerablemente en los métodos con que se modelan las respuestas de la biodiversidad a los impulsores y en medidas de cambios en la biodiversidad, lo que complica sobremanera la tarea de sintetizar. Los métodos para modelar las respuestas de la biodiversidad son particularmente diversos e incluyen modelos que se basan en el nicho<sup>3</sup>, relaciones de dosis-respuesta<sup>4</sup>, relaciones de especie-área<sup>5</sup>, estimaciones empíricas de la vulnerabilidad con base en criterios de la UICN<sup>6</sup>, modelos globales de vegetación<sup>7</sup> y diversas combinaciones de estos y otros modelos. Nos hemos enfocado en cuatro medidas clave de cambios en la biodiversidad – (i) extinción de especies<sup>8</sup>, (ii) cambios en la abundancia de especies<sup>9</sup>, (iii) pérdida del hábitat<sup>10</sup> y (iv) cambios en la distribución de especies, grupos funcionales de especies<sup>11</sup> o biomas<sup>12</sup>.

### Extinción de especies

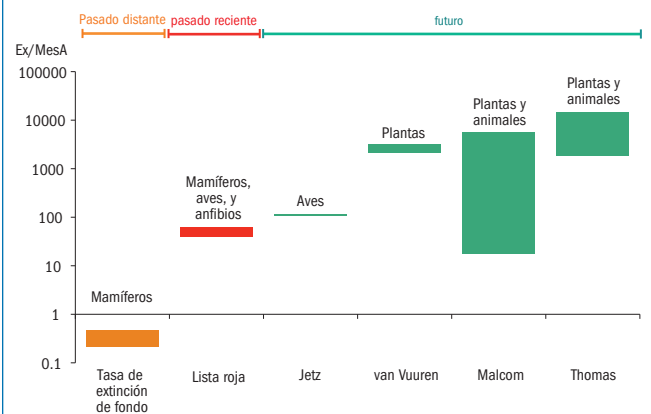


FIGURA 2

TASAS DE EXTINCIÓN HISTÓRICA Y ESCENARIOS DE LAS PROYECCIONES PARA EL SIGLO XXI.

Número de extinciones por millón de especies por año (Ex/MesA) para el pasado distante, pasado reciente y futuro. “Pasado distante” se refiere a la tasa de extinciones de fondo de los mamíferos y se obtuvo de los registros fósiles (EM 2005). “Pasado reciente” se refiere a las extinciones documentadas que se registraron durante el siglo XX, de la Lista Roja – mamíferos (banda superior), anfibios (banda inferior) y aves (banda intermedia) (Baillie et al. 2004). “Futuro” se refiere a las proyecciones de las especies “destinadas a la extinción” de acuerdo a los diferentes escenarios mundiales: aves (Jetz et al. 2007, para el período de 2000–2050), plantas vasculares (van Vuuren et al. 2006 para el período de 1995–2050) y diversos taxa (Thomas et al. 2004 para el período de 2000–2050 y Malcolm et al. 2006 para el período de 2000–2100). Esta figura muestra que las tasas de extinción que se han proyectado tienen muchas incertidumbres (dentro de estudios particulares y entre estudios), que sin embargo son más altas que las tasas de extinción recientes.

**CUADRO 1** Características de los modelos de riesgos extinción para las especies terrestres que se presentan en la figura 2.

	Thomas et al. (2004)	van Vuuren et al. (2006)	Malcolm et al. (2006)	Jetz et al. (2007)
<b>Factores de cambio global</b>	Cambio climático	Uso del suelo y cambio climático	Cambio climático	Uso del suelo y cambio climático
<b>Escenario socioeconómico</b>	Varios escenarios de emisiones de GEI*	Escenarios socioeconómicos de la EM (2005)	Amplia variedad de escenarios de emisiones de GEI (véase Neilson et al. 1998)	Escenarios socioeconómicos de la EM (2005)
<b>Modelos climáticos</b>	Modelo climático del centro Hadley	Modelo de cambio climático IMAGE (Bouwman et al. 2006)	Varios (Neilson et al. 1998)	Modelo de cambio climático IMAGE
<b>Modelos de hábitat o área de distribución de especies</b>	Síntesis de proyecciones regionales de áreas de distribución especies utilizando modelación con base en nicho	Pérdida del hábitat con base en el cambio del uso del suelo y la respuesta al clima del modelo mundial de vegetación IMAGE (Bouwman et al. 2006)	Pérdida del hábitat con base en dos modelos de vegetación	Pérdida del hábitat con base en cambio del uso del suelo y la respuesta al clima del modelo de vegetación mundial de IMAGE
<b>Modelos de extinción de especies</b>	Curvas de especies-área y estado de conservación de UICN	Curvas de especies área	Curvas de especies área	Estado de conservación de UICN (extinción = pérdida de hábitat de 100%)
<b>Grupos de especies considerados</b>	Diversas plantas y animales	Plantas	Todas las especies en hotspots de biodiversidad	Aves
<b>Periodo para la proyección</b>	2050	2050 y 2100	2050 y 2100	2050 y 2100

\* GEI = Gases de efecto invernadero (N. T.)

**EXTINCCIONES DE ESPECIES** – Las proyecciones de extinciones de especies terrestres para el siglo XXI, también conocidas como “pérdida de especies”, han sido el foco de atención de varios estudios recientes, lo cual es comprensible porque las extinciones son una pérdida irrevocable de formas únicas de vida. Hemos resumido estas proyecciones en la figura 2 y en el cuadro 1<sup>13</sup>.

La mayoría de estos estudios estiman que una fracción muy grande de las especies estarán “comprometidas a extinguirse” durante el siglo XXI, debido a los cambios en el uso del suelo y en el clima (figura 2, cuadro 1). Las proyecciones que llevan a estas tasas son, con una excepción, más grandes por dos órdenes de magnitud que las tasas observadas en la segunda mitad del siglo XX, que a su vez son dos órdenes de magnitud más grandes que lo que se encuentra en el registro fósil del Cenozoico.

Las proyecciones de la pérdida de especies varían sustancialmente entre los diferentes biomas en todos los estudios. Por ejemplo, el estudio de Jetz *et al* indica que las aves de las regiones tropicales son las más sensibles, debido a la deforestación a gran escala que sufren estos biomas que se caracterizan por tener una excepcional riqueza de especies y especies con distribuciones geográficas pequeñas (figura 3). Por el contrario, van Vuuren et al, colocan a los bosques mixtos de zonas tropicales, bosques deciduos de zonas templadas y sabanas como los

más sensibles al cambio climático (figura 4). Parte de esta divergencia se debe a que van Vuuren *et al.* se enfocan en los porcentajes de pérdida de especies mientras que Jetz *et al.* en el número de extinción de especies, resaltando la importancia de los patrones mundiales, en la riqueza de especies como un determinante crítico del futuro de la extinción de las especies.

En las proyecciones que consideran el cambio del uso del suelo y el cambio climático a lo largo del siglo XXI, el cambio en el uso del suelo es el que típicamente permanece como el impulsor dominante que lleva a la pérdida de especies a escala global. En todos los escenarios socio-económicos de los estudios que se basan en la Evaluación del Milenio (EM), las regiones que son más impactadas por el cambio del uso del suelo son los pastizales, las sabanas y las selvas del centro y sur de África (véanse también los puntos de inflexión en recuadro 4 y recuadro 6), las regiones del Atlántico de América del Sur, lo que incluye los bosques atlánticos que son megadiversos, y partes del sureste asiático (figura 3). Van Vuuren *et al.* indican que para 2050 la pérdida del hábitat explica más de tres cuartas partes de la pérdida de especies a nivel mundial, aunque el cambio climático predominantemente impacta en los biomas de grandes latitudes (Thomas *et al.* y Malcom *et al.* en la figura 2). Las grandes diferencias en los métodos y los grupos de especies estudiados, hacen difícil de determinar a qué se debe esto<sup>14</sup>.

Las proyecciones de los escenarios socio-económicos que tienen altas tasas de crecimiento poblacional y un bajo valor de los bienes públicos, tienen los niveles más altos de pérdida de especies (es decir, el escenario del “orden desde la fuerza” de los estudios que se basan en la EM (2005), cuadro 1), pero en general, en muchos de los estudios sobre pérdidas de especies, sólo hay diferencias modestas entre los escenarios socioeconómicos (por ejemplo véase la figura 4) a pesar de las diferencias importantes entre el crecimiento poblacional humano, las emisiones de gases de efecto invernadero, tecnologías ambientales, etcétera. La ausencia de grandes diferencias en los impactos entre las especies a través de los diferentes escenarios, parece ser el resultado de complejos efectos compensatorios de rutas de desarrollo sobre los impactos del uso del suelo y del cambio climático<sup>15</sup>. Ahondamos en las posibles explicaciones en la sección “abundancia de especies”, más adelante.

Hay una preocupación cada vez mayor respecto a las proyecciones de extinción de especies, especialmente las que se basan en las relaciones especie-área, ya que se teme que estas dependen de hipótesis que no han sido probadas lo suficiente e incoherentes con las extinciones históricas recientes y el registro paleontológico<sup>16</sup>. También se debe tener en mente, que la mayoría de los modelos predice que la proporción de especies que están “destinadas a extinguirse” en el futuro porque su hábitat o área de distribución disminuye, pero el lapso de tiempo entre estar “comprometidas a extinguirse” y realmente extinguirse puede variar de décadas a varios miles de años. Es interesante observar que en nuestro análisis el modelo que no usa curvas de especies-área (Jetz *et al.* 2007) predice tasas de extinción ligeramente mayores en comparación con aquellas observadas durante el siglo pasado, mientras que las proyecciones de los modelos restantes dicen que las tasas de extinción son más grandes hasta por dos órdenes de magnitud (figura 2). Se podría decir que el modelo de Jetz *et al.* puede ser demasiado optimista, ya que predice extinciones solamente cuando el hábitat completo de la especie ha sido modificado<sup>18</sup>. Además la pérdida del hábitat hace las especies más vulnerables a otros impulsores de extinción como lo son la explotación, en el caso de los grandes mamíferos, o las enfermedades, como es el caso actual de los anfibios centroamericanos<sup>19</sup>. Además, en el futuro las extinciones pueden ser peores de lo proyectado en los escenarios más pesimistas de la figura 2, porque la dinámica no lineal de los puntos de inflexión no ha sido tomada en cuenta completamente (véase más adelante). Las consideraciones anteriores ilustran claramente que hay mucha más incertidumbre en las proyecciones de las extinciones de especies

que lo que han sugerido evaluaciones previas y, por lo tanto, es del interés de la comunidad científica, gestores de la biodiversidad y los políticos, el llevar a cabo esfuerzos concertados para entender mejor esta incertidumbre y para desarrollar los planes de acción que corresponden.

**ABUNDANCIA DE ESPECIES** – Los tamaños de las poblaciones de las especies, también denominados “abundancia de especies”, son un indicador importante y sensible de la intensificación o desahogo de las presiones que sufren las especies y sus hábitats. Los cambios en la abundancia de especies de vertebrados terrestres y marinos bien estudiados, son la base del Índice del Planeta Vivo (LPI por sus siglas en inglés), una de las medidas del estado de la biodiversidad a nivel mundial más usadas. Recientemente, se han desarrollado modelos para predecir los cambios en la abundancia de especies terrestres durante el siglo XXI a escala regional y global. En estos estudios el cambio en la abundancia de las especies se define como la pérdida de especies entre un ecosistema de referencia “natural” o relativamente sin perturbar y un ecosistema transformado<sup>20</sup>. Presentamos las dos proyecciones globales publicadas, de la abundancia de las especies (GEO4 y GBO2), ambas se basan en el modelo GLOBIO y las comparamos con las tendencias recientes del LPI para las especies terrestres.

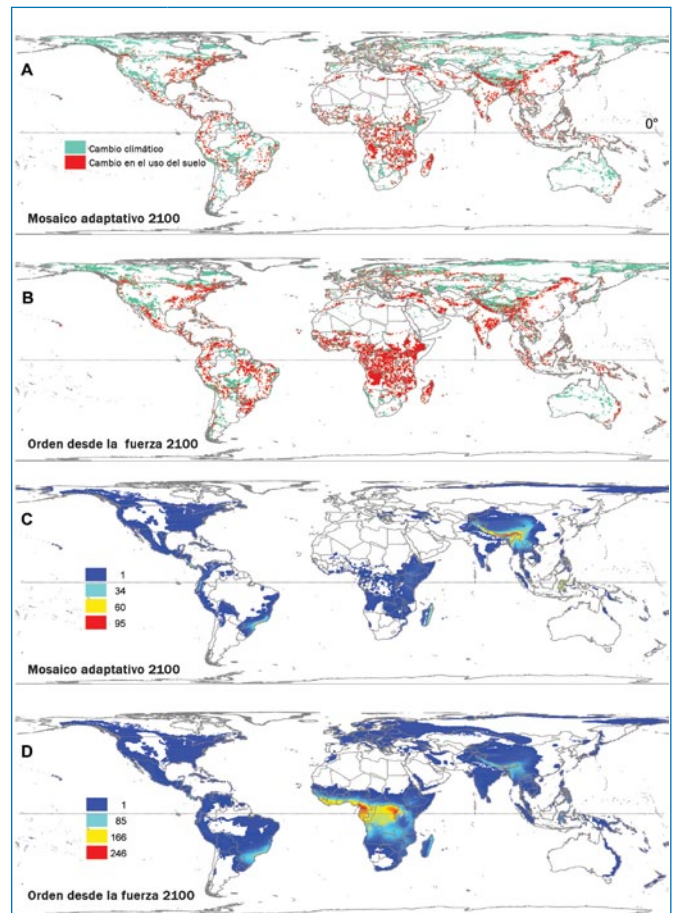
Los modelos globales predicen que la abundancia de especies promedio disminuirá durante la primera mitad del siglo entre un 9% y 17% (figura 5A). Las tendencias observadas en el LPI para los ecosistemas terrestres también muestran grandes reducciones en la abundancia de las especies de vertebrados terrestres (figura 5B), aunque se debe tener precaución cuando se comparan tendencias observadas y proyectadas debido a diferencias metodológicas importantes<sup>21</sup>. A pesar de estas diferencias en metodologías, los modelos que se basan en observaciones y en proyecciones indican que las poblaciones de muchas especies, en especial de aquellas que dependen de hábitats naturales, disminuirán rápidamente durante las próximas décadas a escala global. Incluso las proyecciones a partir de la GEO4 sugieren las abundancias de las especies disminuirán a tasas cada vez mayores (figura 5A).

Uno de los aspectos novedosos del análisis del GBO2 es que se examinaron individualmente caminos específicos de políticas y vías de desarrollo, con el fin de estudiar sus impactos en la biodiversidad (figura 6B), lo que hace más fácil los análisis para tomar medidas políticas que con complejas historias socioeconómicas (por ejemplo los escenarios de la EM y de la GEO4). Se ha proyectado un aumento sustancial en el número de áreas



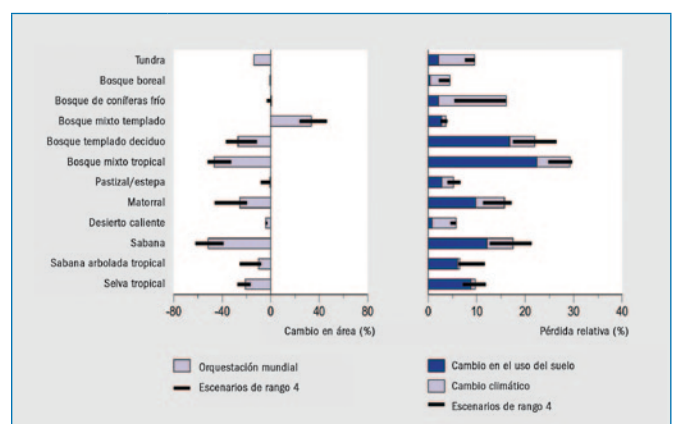
protegidas para tener el mayor impacto positivo sobre la biodiversidad para 2050 en comparación con el escenario básico<sup>22</sup>. La producción sustentable de carne también tiene efectos benéficos sobre la biodiversidad, a través de reducir la presión que ejerce el uso del suelo para producir pastura y cultivos. En esta opción los esfuerzos concertados para aliviar la pobreza tienen un efecto negativo en la abundancia de las especies, en primer lugar debido a la mayor demanda de alimentos y producción energética<sup>23</sup>. Sorprendentemente, la opción de la mitigación del cambio climático da como resultado una menor abundancia de especies en comparación con el escenario básico, en primer lugar debido a que esta opción depende principalmente en la conversión a gran escala de los sistemas naturales para producir biocombustibles. El despliegue a gran escala de biocombustibles, también es un elemento clave en los escenarios socioeconómicos “amigables con el ambiente” que se usaron en la EM (es decir “tecojardines”) y GEO4 (esto es “la sustentabilidad primero”) y explica, en parte, porqué estos escenarios no llevan a mejores resultados para la biodiversidad<sup>24</sup>. Una segunda explicación muy importante, es que la mitigación del cambio climático tendrá un impacto relativamente pequeño sobre el calentamiento global para 2050, debido a los grandes retrasos en la respuesta del sistema terrestre<sup>25</sup>. Es de esperarse que la mitigación del cambio climático juegue un papel extremadamente importante en limitar los cambios en la biodiversidad hacia fines del siglo, en ausencia del desarrollo de biocombustibles a gran escala (véanse ejemplos en “cambios en la distribución de especies, grupos de especies y biomas” más adelante).

Los modelos de abundancia de especies evitan algunas de las trampas en la proyección de extinciones de especies porque están ancladas en las observaciones de los impactos del medio ambiente sobre las especies. Sin embargo, sí tienen algunas limitaciones importantes. En particular, puede ser problemático definir el ecosistema de referencia, en especial cuando quedan pocos ecosistemas prístinos o no son un buen punto de referencia<sup>26</sup>. Se ha sugerido que los datos de monitoreo a largo plazo proporcionan una base más robusta para un enfoque que se basa en la abundancia de especies<sup>27</sup>, pero éste está muy limitado por la carencia de datos para muchas regiones y grupos de especies (cf. LPI). Una advertencia más es que estos modelos no han sido validados a grandes escalas regionales o globales, así que no sabemos si el número limitado de medidas de las respuestas de las especies a los impactos ambientales usados a escala local que fueron usados para construir los modelos, pueden reflejar de manera correcta las tendencias a estas grandes escalas.



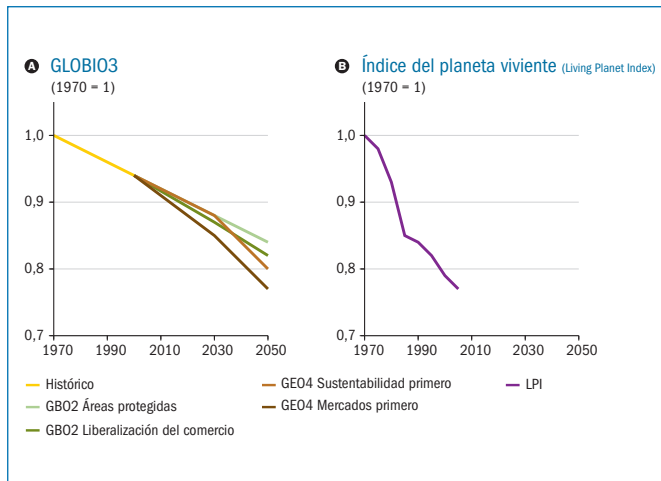
**FIGURA 3** CAMBIOS PROYECTADOS EN LA COBERTURA DEL SUELO E IMPACTO EN LAS AVES PARA 2100

A) y B) Cambios proyectados en la cobertura del suelo debidos al uso del suelo y al cambio climático para dos escenarios socioeconómicos contrastantes, el “mosaico adaptativo” es protector del ambiente y el de “orden desde la fuerza” es reactivo ambientalmente. C) y D) patrón de riqueza de especies con las disminuciones en el área de distribución que se proyectaron  $\geq 50\%$ . El mapa representa la suma de las frecuencias de la clasificación de las especies en una cuadrícula de 0.5o. Fuente: Jetz et al. 2007.



**FIGURA 4** CAMBIOS QUE SE PROYECTAN PARA 2005 PARA EL ÁREA Y LA DIVERSIDAD DE PLANTAS PARA CADA BIOMA

Los valores son para escenario socioeconómico “orquestación mundial” y las barras negras indican la variación en las proyecciones con base en los cuatro escenarios socioeconómicos de EM (2005). La pérdida relativa de plantas vasculares indica el porcentaje de especies “expuestas a la extinción” en cada bioma. Todos los valores son relativos a valores de 1995. Fuente: van Vuuren et al. 2006.



**FIGURA 5**

**CAMBIOS OBSERVADOS Y ESCENARIO DE LAS PROYECCIONES A 2050 EN RELACIÓN CON LA ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES TERRESTRES.**

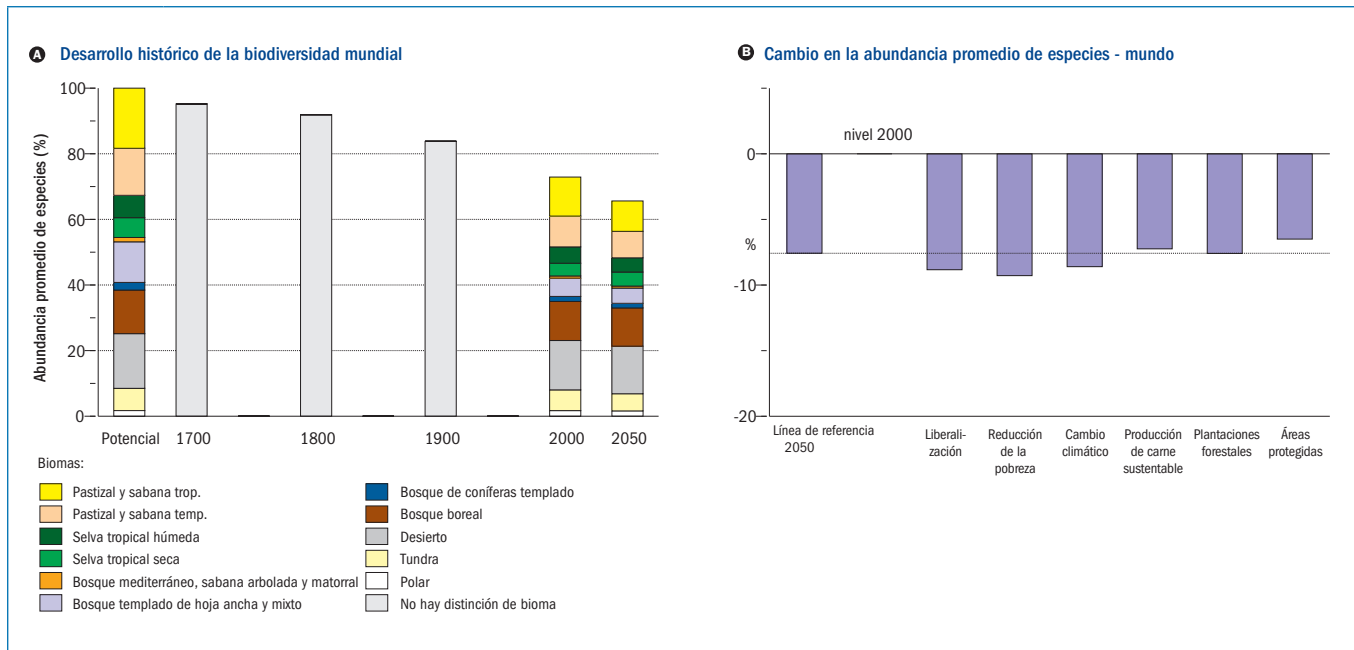
A) Modelación de los cambios en la abundancia media de especies terrestres (AME) utilizando el modelo GLOBIO (Alkemade et al. 2009) para los escenarios del GEO4 y GBO2 de 1970 a 2050. B) El Índice del Planeta Vivo (LPI) para las especies terrestres se basa en cambios observados en los tamaños de las poblaciones de vertebrados terrestres bien estudiados de 1970 a 2005 (fuente: Jonathan Loh, WWF). Estos dos indicadores evalúan los cambios en las abundancias de especies, pero son calculados de manera diferente de tal manera que no son comparables de manera directa. Sin embargo, sugieren que las abundancias de las especies han disminuido globalmente, y continuarán haciéndolo en los escenarios examinados. El escenario que tiene la menor pérdida de biodiversidad es en el que las áreas protegidas se instrumentan de manera efectiva y son expandidas a nivel mundial.

**PÉRDIDA DEL HÁBITAT** – La conversión de ecosistemas terrestres en sistemas agrícolas, urbanos u otros dominados por el ser humano, también referida como “pérdida del hábitat”, actualmente es el principal impulsor de los cambios en la abundancia de las especies a nivel global. Todos los modelos que hemos analizado proyectan una pérdida sustancial de hábitats naturales a lo largo del siglo que viene, principalmente debido a la conversión para cultivos o producción de bioenergía, o debido al cambio climático (por ejemplo figura 3 y figura 4).

La deforestación es la causa más importante de pérdida del hábitat a escala mundial, así que hemos usado un índice simple – el área de bosques naturales y seminaturales a nivel global – con el fin de proporcionar una visión general de la pérdida del hábitat a partir de las proyecciones obtenidas de modelos. La mayoría de los modelos predicen la pérdida de bosques mundialmente, pero algunos de los casos con los mejores escenarios tienen como resultado un aumento en el área forestal para 2050 (figura 7). La importancia relativa de los cambios en el uso del suelo y el cambio climático en estas pérdidas o ganancias varía en diferentes escenarios (figura 3), con el cambio climático aumentando su importancia a lo largo del tiempo, en todos los escenarios. Se estima que los mayores impactos negativos de los cambios en el uso del suelo sucederán en las selvas tropicales, mientras que los bosques boreales serán afectados por el cambio climático (figura 3), aunque los estudios que desarrollan modelos para la vegetación a nivel global (véase más abajo) y nuestros análisis de puntos de inflexión, sugieren que los impactos del cambio climático en los bosques templados y selvas podrían ser mucho más grandes que lo que han sugerido evaluaciones previas de biodiversidad.

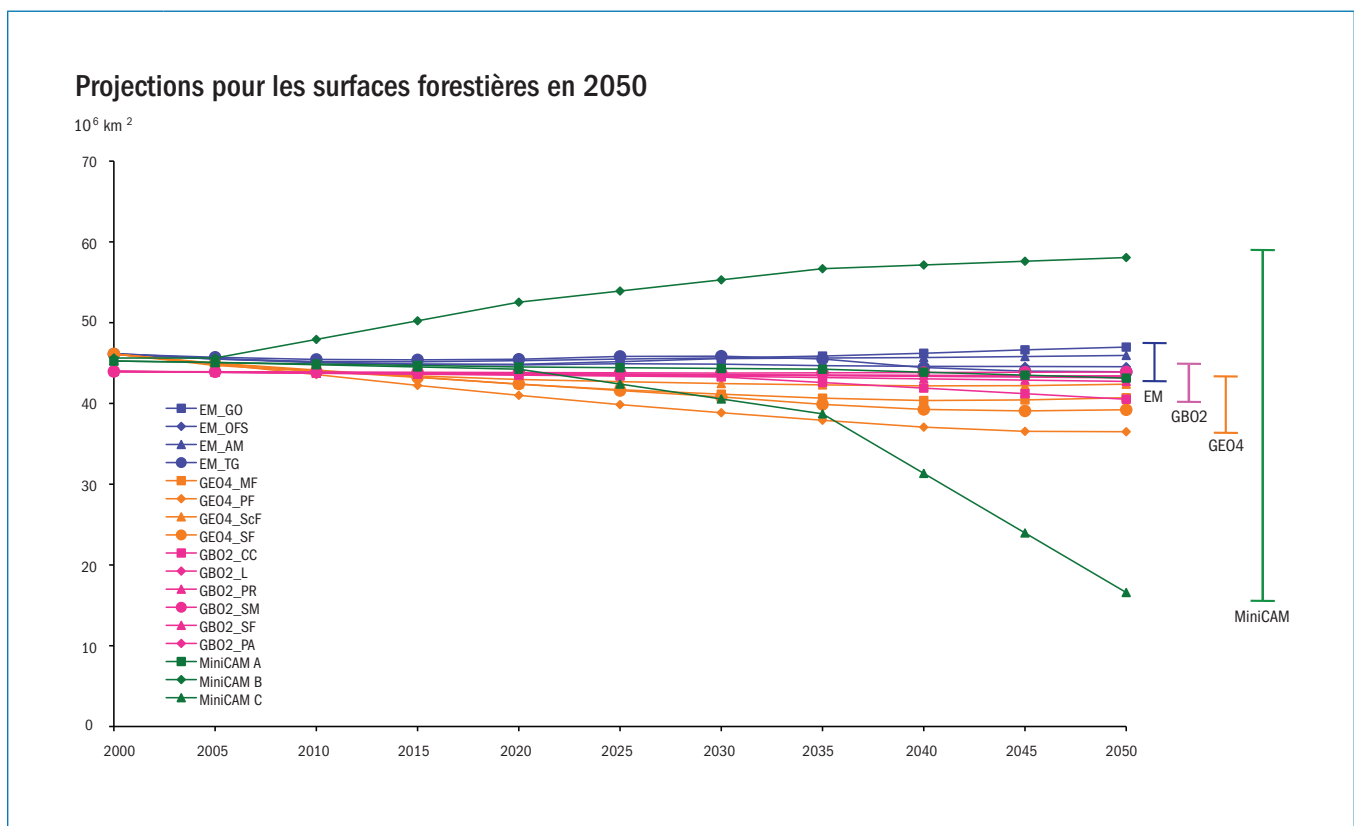
La extensión de la pérdida de hábitat proyectada a través de varios estudios, sugiere que las diferencias entre los caminos futuros podrían ser mucho más grandes que lo anticipado previamente. En la mayoría de los estudios previos, hay diferencias

relativamente pequeñas en los cambios en el área forestal que surgen a partir de las proyecciones obtenidas con los diferentes escenarios socioeconómicos (figura 7, los estudios GEO4, GBO2 y EM). Esto se ha atribuido a los mecanismos de compensación, dos de los más importantes se relacionan con la producción de bioenergía y la productividad agrícola<sup>28</sup>. De acuerdo con lo que se ha discutido con anterioridad, la mayoría de los escenarios socioeconómicos “amigables con el ambiente” sólo logran pequeñas reducciones en la pérdida del hábitat en comparación con otras rutas de desarrollo. En parte porque la mitigación del cambio climático depende de una producción bioenergética a gran escala. Por el contrario, algunos escenarios socioeconómicos recientes sugieren que la mitigación del cambio climático puede ser lograda plausiblemente con una dependencia modesta de biocombustibles (figura 7, miniCAM B). En segundo lugar, la mayoría de los escenarios necesitan de la conversión a gran escala de hábitats naturales a campos de cultivo, ya sea porque la productividad agrícola es baja o porque el consumo de alimentos aumenta rápidamente<sup>29</sup>. Algunos escenarios recientes sugieren que es posible obtener aumentos considerables en el rendimiento agrícola de los países en vías de desarrollo (aunque esto está siendo debatido acaloradamente), y cuando esto se combina con un límite al consumo de carne, se puede reducir sustancialmente la conversión de los hábitats naturales a campos de cultivo<sup>30</sup> (figura 7 – miniCAM B). En el extremo opuesto, los escenarios plausibles que combinan un despliegue a gran escala de biocombustibles y un aumento rápido en el consumo de alimentos, llevan a la pérdida de bosques que excede, por mucho, los peores escenarios de evaluaciones de biodiversidad previas (figura 7 – miniCAM C). Una de las lecciones obtenidas de estos análisis es que las diferencias en las rutas socioeconómicas de desarrollo pueden tener un impacto tremendo en la pérdida del hábitat al igual que en la biodiversidad en otros niveles, pero que el conjunto de historias que han sido utilizadas para la mayoría de las evaluaciones de biodiversidad globales no están



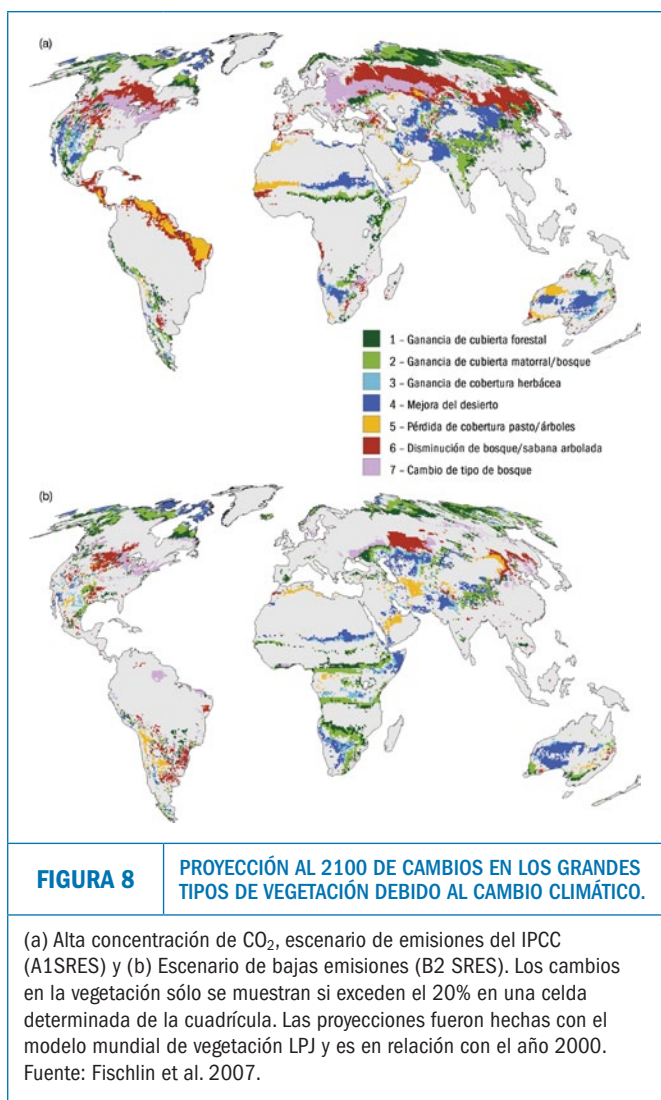
**FIGURA 6** CAMBIOS HISTÓRICOS ESTIMADOS PARA 2050 EN LA ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES TERRESTRES Y COMPARACIÓN DE LOS CAMBIOS PROYECTADOS EN LAS ÁREAS PROTEGIDAS PARA 2050, BAJO DIFERENTES POLÍTICAS DE SUSTENTABILIDAD.

a) Cambios históricos y cambios proyectados para la abundancia media de especies bajo un escenario de “todo sigue igual”. B) Comparación de los escenarios para 2050, que examinan el efecto de diferentes alternativas de políticas sobre la abundancia media de especies con respecto a una proyección de referencia. Las proyecciones fueron hechas utilizando el modelo GLOBIO. Fuente: ten Brink et al. 2007.



**FIGURA 7** PROYECCIÓN DE LOS CAMBIOS EN LA EXTENSIÓN DE LOS BOSQUES BAJO DIFERENTES ESCENARIOS MUNDIALES.

Fuentes de los datos: escenarios de la EM (Sala et al. 2005), escenarios GBO2 (ten Brink et al. 2007), escenarios GEO4 (UNEP 2007) y escenarios MiniCAM (Wise et al. 2009). Para la EM, GBO2 y GEO 4 (todos con base en IMAGE (Bouwman et al. 2006)). “Bosque” incluye bosque natural, bosque secundario y plantaciones de madera (para obtener madera o para secuestro de carbono), pero no incluye cultivos para obtener biocombustibles de madera. Los escenarios MiniCAM utilizan diferentes categorías, y “bosque” incluye bosques manejados y sin manejar. Los escenarios MiniCAM muestran que hay una variedad mucho más amplia de futuros posibles para los bosques, dependiendo de las políticas y selecciones de la sociedad, que lo que se había anticipado previamente en otras evaluaciones de escenarios. Se puede lograr un aumento en el área del bosque por medio de aumentar la productividad de los cultivos en países en desarrollo, limitando el consumo de carne y evitando los desarrollos a gran escala de biocombustibles.



bien adaptadas para demostrar el impacto potencial de las opciones políticas sobre la biodiversidad.

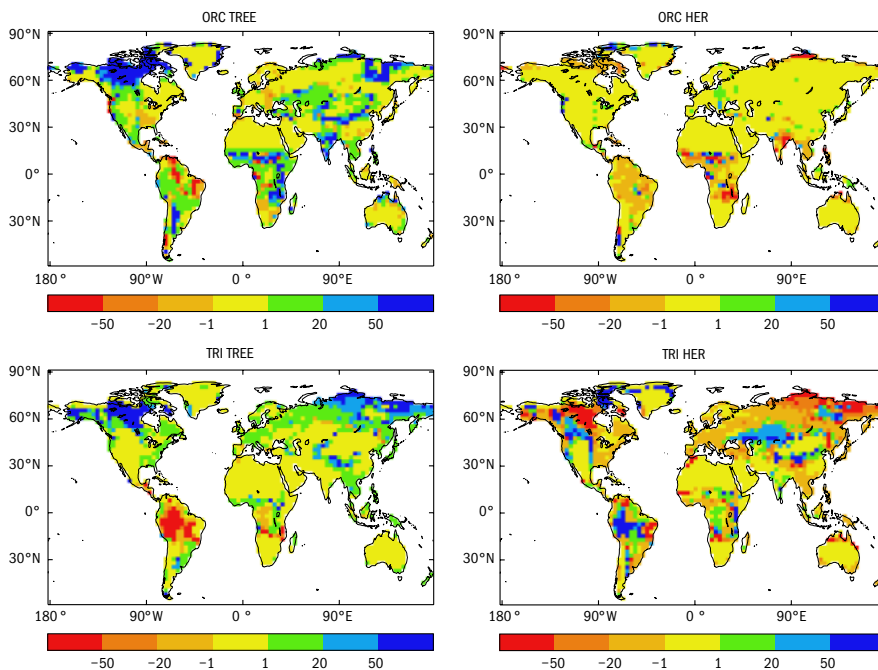
**CAMBIOS EN LA DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES, GRUPOS DE ESPECIES Y BIOMAS** – Se han hecho proyecciones de los cambios en la distribución espacial de las especies, tipos de vegetación o biomas, a escala regional y mundial utilizando una gran variedad de modelos, en especial modelos que se basan en el nicho y en modelos de vegetación global que se enfocan en el cambio climático como el principal impulsor. No hemos hecho una revisión exhaustiva de estos modelos y sus proyecciones, pero hemos elegido enfocarnos en ejemplos representativos de trabajo reciente con modelos de vegetación global.

Como lo muestran la figura 8 y la figura 9, los cambios ocasionados por el clima en las áreas de distribución de las especies y biomas podrían moverse hacia los polos por varios cientos de kilómetros durante el próximo siglo. Estos cambios en la distribución de las especies, tipos de vegetación o biomas son importantes para la biodiversidad, incluso cuando no conducen a un aumento sustancial del riesgo de extinción, disminución en la abundancia de las especies o pérdida neta del hábitat. Los bosques del hemisferio norte son un ejemplo destacado de la importancia de los cambios

en especies y biomas. Se ha proyectado que las especies de bosques boreales se moverán hacia el norte dentro de la tundra ártica conforme el clima se hace más cálido, y en su límite sur se predice que morirán y le abrirán camino a especies de bosques de coníferas de zonas templadas o de bosques mixtos (figura 8, y véase punto de inflexión para la Tundra en recuadro 2). Estas variaciones en las áreas de distribución de las especies boreales es probable que ocasionen grandes interrupciones en el abastecimiento de servicios ecosistémicos clave, incluyendo la cosecha de madera y regulación del clima, aunque no lleven a grandes niveles de pérdida de hábitats (figura 4), extinciones de especies (figura 3 C y D) o reducciones en la abundancia de las especies (figura 6A). Una gran variedad de estudios a escala regional con un amplio tipo de modelos, todos indican que es probable que ocurran los cambios en la vegetación a gran escala debido al cambio climático durante el siglo XXI<sup>31</sup>. El registro paleontológico claramente demuestra que los cambios de clima en el pasado ocasionaron cambios en la distribución de las especies y tipos de vegetación a gran escala y las observaciones indican que las especies se han ido moviendo hacia los polos y hacia arriba en altitud como respuesta al calentamiento del clima en el transcurso de décadas pasadas<sup>32</sup>.

La principal incertidumbre no es si ocurrirán los cambios en las especies y en las áreas de distribución de los biomas a consecuencia del cambio climático, sino más bien la tasa y la extensión que alcanzarán estos cambios. Estas incertidumbres han sido subestimadas en las evaluaciones globales previas sobre biodiversidad. El modelo IMAGE, utilizado en la mayoría de estas evaluaciones, cae en el rango medio de la sensibilidad al clima de los modelos de vegetación mundial y, por lo tanto, proyecta modestos impactos del cambio climático sobre las distribuciones de la vegetación (figura 3 y figura 4). Otros modelos de vegetación global también prevén cambios modestos en la vegetación, incluso bajo escenarios de mucho cambio climático (figura 9, modelo Orchidee), pero varios modelos usados ampliamente predicen cambios dramáticos en la vegetación, incluyendo el colapso de la selva Amazónica, una invasión a gran escala de la tundra por los bosques boreales y una amplia mortalidad del límite sur de las áreas de distribución de los bosques boreales y templados (figura 8A, figura 9-modelo Triffid, y véase recuadro 4 y recuadro 2). La moderada sensibilidad del modelo IMAGE de vegetación mundial al cambio climático, significa que la mitigación del cambio climático sólo produce reducciones modestas en los cambios de la biodiversidad para este modelo. Otros modelos ampliamente usados y probados, sugieren que una firme mitigación del cambio climático es absolutamente esencial con el fin de evitar desplazamientos

FIGURA 9



Los árboles (TREE, paneles de la izquierda) y las especies herbáceas (HER, paneles de la derecha) de 1860 a 2099 con base en dos modelos de vegetación mundiales que simulan la dinámica de la vegetación terrestre y funcionamiento de los ecosistemas (ORC = Orchidee, TRI = Triffid). Los colores indican las proyecciones en los cambios en el porcentaje de cobertura. Estas proyecciones se basan en escenarios con los niveles más altos de emisiones de gases de efecto invernadero considerados por el IPCC (SRES A1FI) y usan un modelo climático en común. Nótese que las áreas en azul o rojo indican cambios en la vegetación que son lo suficientemente grandes que pueden ser calificados como cambios en el tipo de bioma<sup>109</sup>. Para este estudio, sólo se hicieron simulaciones del impacto del cambio climático sobre la vegetación. Fuente: Sitch et al. 2008.

a gran escala de especies y biomas durante el siglo XXI (compárese la figura 8B, que se basa en un escenario de bajas emisiones de gases de efecto invernadero con figura 8<sup>a</sup>, que se basa en un escenario de altas emisiones).

**Los puntos de inflexión terrestres golpearán con mayor fuerza a las regiones con economías en desarrollo. Es difícil predecir la mayoría de los puntos de inflexión debido a las complejas interacciones entre los factores de cambio global que las conducen pero, si llegan a ocurrir, tendrán impactos excepcionalmente grandes en el bienestar humano.**

Los puntos de inflexión terrestres están resumidos en los recuadros 2 a 8 y están descritos con mayor detalle en los apéndices. Esta no es una lista exhaustiva de puntos de inflexión: por ejemplo, muchos de los sistemas áridos tienen puntos de inflexión parecidos a los descritos para el Sahel, las especies invasoras llevan a puntos de inflexión a muchos sistemas terrestres además de a las islas, etcétera<sup>33</sup>. Nos hemos enfocado en una muestra representativa de puntos de inflexión mediada por un intervalo de impulsores del cambio climático. A continuación discutimos algunas de las lecciones comunes que pueden extraerse del análisis de estos puntos de inflexión.

**ES MUCHA LA INCERTIDUMBRE PARA LA MAYORÍA DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN TERRESTRES, PERO SON GRANDES LAS POSIBLES CONSECUENCIAS POR LA INACCIÓN** – De los puntos de inflexión que examinamos, solamente los de la Tundra ártica se aceptan ampliamente como muy probables de ocurrir y de afectar áreas muy extensas. Este alto grado de confianza se basa en la sólida coherencia de la evidencia que proporcionan

los experimentos, las observaciones y los modelos. Hay pocas dudas de que ocurrirá el punto de inflexión del aumento del nivel del mar en la zona costera, al igual que hay muy buena evidencia de que el nivel del mar está aumentando y continuará haciéndolo. Sin embargo, la extensión de las áreas afectadas y el grado de su impacto en la biodiversidad y en los servicios ecosistémicos dependerá de varios factores con mucha incertidumbre (por ejemplo el aumento en el nivel del mar, tasas de sedimentación, uso del suelo, etcétera). Las proyecciones futuras sobre el aumento del nivel del mar han sido modificadas recientemente para aumentarlas<sup>34</sup>, lo que deja poca esperanza de que la extensión de las áreas muy afectadas sea pequeña. El punto de inflexión de las especies invasoras sigue en marcha y las tendencias para las invasoras naturalizadas en islas, a lo largo de los últimos 100-150 años, son casi lineales, lo que sugiere que no hay mucha esperanza de detener las invasiones en el futuro cercano, lo que tiene como resultado un gran impacto en las extinciones de especies a nivel mundial. El punto de inflexión del Mediterráneo casi con seguridad sucederá en el futuro, en ausencia de un buen manejo del uso de la tierra, ya que ha ocurrido en el pasado que algunas áreas han tenido impactos negativos en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos locales. Sin embargo, es difícil de predecir la extensión en el futuro de las áreas afectadas por estos puntos de inflexión debido a la importancia de tomar decisiones para el manejo de la tierra para controlarlas. El punto de inflexión de la degradación del suelo en África occidental ya ha sido superado en varias ocasiones con consecuencias dramáticas para el bienestar del ser humano. Sin embargo, hay incertidumbres muy grandes en lo que respecta al futuro de este punto de inflexión,

**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

El cambio climático ha sido y será más fuerte en el Ártico que en otras partes del planeta con aumentos proyectados de 3° C a 8° C para la región ártica para el final del siglo XXI. El calentamiento global ocasionará el derretimiento extendido del *permafrost*, lo que llevará a la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero del suelo orgánico de la tundra. También se predice que la transformación de la tundra a bosque boreal reducirá el albedo (es decir un aumento en la fracción de luz absorbida por la superficie de la tierra) y cambios en las emisiones de aerosoles. Se proyecta que estos cambios en los sistemas de tundra agravarán el calentamiento regional y global. Debido a los retrasos en la respuesta de los sistemas de la Tierra, se predice que el calentamiento global persistirá por varios siglos, incluso si las emisiones de gases de efecto invernadero disminuyen sustancialmente, lo que hace que el cambio de este bioma sea inevitable e irreversible durante el siglo XXI.

**IMPACTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

Los experimentos, las observaciones y los modelos, muestran claramente que todos los escenarios climáticos posibles, llevarán a aumentos continuos y extendidos en la dominancia de los arbustos en las comunidades de tundra, y una disminución en la abundancia de especies herbáceas, briofitos y líquenes. La mayoría de los modelos proyectan que, al final del siglo, los bosques boreales invadirán densamente grandes áreas de la tundra, como ha ocurrido durante periodos cálidos en el pasado reciente (por ejemplo 6 000 años antes del presente). El riesgo de las extinciones durante el siglo XXI es modesta, dada la distribución tan grande y contigua de muchas especies de la tundra. El derretimiento del *permafrost* y los cambios en la disponibilidad de la caza, ya han tenido un gran impacto en algunas de las poblaciones indígenas y es probable que estos impactos se extiendan y sean muy severos en las próximas décadas

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Alto – Los procesos generalmente se entienden bien y están bien modelados, con algunas excepciones notables como la retroalimentación



antes: Billy Linblom, Flickr.com  
después: Ben+Sam, Flickr.com



del clima por la formación de nubes y tasas de migración de especies de bosques boreales.

**LA CERTIDUMBRE DE LAS PROYECCIONES**

Alta – En lo que respecta a la dirección del cambio, los modelos, experimentos y observaciones son coherentes cualitativamente. La incertidumbre se relaciona con las tasas y extensión del derretimiento del *permafrost* y la expansión del bosque boreal.

**ACCIONES CLAVE**

Debido a los largos retrasos de respuesta en el sistema terrestre, probablemente ya hemos pasado un punto de inflexión por un largo plazo, extendida degradación del *permafrost* e invasión de la tundra por bosques boreales, pero una mitigación agresiva del clima podría hacer más lento este proceso. Un manejo adaptativo para conservar los sistemas de tundra no es factible fuera de áreas muy pequeñas. A escalas locales, el pastoreo de grandes herbívoros podría ser manejado para reducir la tasa de invasión por árboles. Hoy en día una estrategia de adaptación viable es reubicar a las poblaciones indígenas con el fin de preservar sus medios de subsistencia, pero adaptación a largo plazo necesitará de ajustes culturales.

\* El texto original de este punto de inflexión fue preparado por Juan Fernández (Université Paris-Sud XI, juan.fernandez@u-psud.fr) y Paul Leadley (Université Paris-Sud XI, paul.leadley@u-psud.fr) y está disponible en el apéndice 1. Literatura adicional: Bigelow et al. 2003, Folley 2005, Wahren et al. 2005, Lucht et al. 2006, McGuire et al. 2009.

**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

En la región mediterránea, los escenarios del uso del suelo prevén una disminución en las tierras de cultivo debido al abandono rural, y a un aumento de la vegetación de regeneración natural y plantaciones forestales. Además, los modelos climáticos proyectan que para la región habrá un aumento en las temperaturas y una disminución en las precipitaciones, lo que llevará a periodos de sequías más frecuentes y mayores riesgos de incendios, ya que la vegetación se hace más inflamable. Un aumento en la perturbación por fuego debido a los cambios del clima y el uso del suelo se proyecta que llevará a la expansión de comunidades de sucesión temprana como es el caso de matorrales. A su vez los matorrales promueven la recurrencia de los incendios debido a que son altamente inflamables.

**IMPACTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

Los matorrales son pobres en especies en comparación con los bosques naturales y las extensas tierras de cultivo manejadas, de tal manera que este punto de inflexión se proyecta que llevará a una reducción en la diversidad de especies significativa. Muchas áreas de la región mediterránea también se caracterizan actualmente por una gran heterogeneidad en el uso del suelo, lo que lleva a una diversidad de especies a nivel de paisaje, la que será reducida si los incendios traen una cobertura vegetal más uniforme. El fuego asociado con la expansión de comunidades de sucesión temprana también dará como resultado mayores costos para el control de los incendios e impactos negativos sobre la infraestructura y la salud, al igual que reducciones en una amplia gama de servicios ecosistémicos de regulación como es el caso de la protección de cuencas hidrográficas y almacenamiento de carbono.

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Alto – Este punto de inflexión ya está sucediendo en muchas áreas y los mecanismos de retroalimentación ecológica de este punto de inflexión están bien documentados y modelados.



antes y después: Henrique Miguel Pereira



**LA CERTIDUMBRE DE LOS ESCENARIOS**

Moderada a baja – Una gran mayoría de los modelos climáticos predice climas más calientes y secos y la mayoría de los escenarios del uso del suelo proyectan que habrá un abandono sustancial de las tierras para la región mediterránea. Sin embargo, los cambios en el manejo forestal son difíciles de prever y jugarán un papel determinante en el control de este punto de inflexión.

**ACCIONES CLAVE**

Es importante acelerar la sucesión natural hacia bosques nativos de frondosas por medio de adoptar prácticas adecuadas de manejo forestal. Se necesita de un cambio a nuevos paradigmas de manejo forestal que se enfoquen en bosques de diversas funciones, con el fin de proporcionar diversos servicios ecosistémicos y crear bosques que son más resistentes a la perturbación por fuego que la propensión de las plantaciones actuales. Al mismo tiempo, es importante persistir en aumentar la conciencia del público con respecto a la prevención de incendios y del valor de los bosques para permitir una amplia variedad de servicios ecosistémicos. A escala global, también es importante la mitigación del cambio climático.

\* El texto original de este punto de inflexión fue preparado por Vânia Proença (University of Lisbon, vaniaproenca@fc.ul.pt) y Henrique M. Pereira (University of Lisbon, hpereira@fc.ul.pt) y está disponible en el apéndice 2. Literatura adicional: Schroter et al. 2005, Vallejo et al. 2006, Palahi et al. 2008, Pausas et al. 2008.

**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

Dos puntos de interacción podrían tener como resultado una mortalidad extendida de la selva tropical húmeda en el Amazonas. 1) La conversión de la selva a tierras agrícolas y los incendios, alteran la lluvia y aumentan los incendios. Se proyecta que la fragmentación de la selva y las sequías aumentarán la susceptibilidad de las selvas a los incendios y a la mortalidad, lo que llevará a un círculo vicioso en el cual los incendios y la mortalidad se generalicen. 2) Algunos modelos climáticos proyectan reducciones sustanciales en las lluvias del Amazonas. En algunos modelos de vegetación, la reducción en el régimen de lluvias, combinada con temperaturas más altas, dan como resultado la muerte de la selva y una disminución en la transferencia de agua a la atmósfera, provocando mecanismos de retroalimentación que llevan a un clima más seco en el cual las selvas tropicales húmedas es substituida de manera permanente por vegetación dominada por matorral y pastos. Un estudio reciente de los impactos combinados de estos procesos, sugiere que partes del Amazonas pueden estar cercanos a un punto de inflexión de muerte de la selva.

**IMPACTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

La selva amazónica, en especial en su límite occidental, es una de las áreas de mayor riqueza de especies del mundo. Una mortalidad extendida de la selva tropical húmeda llevará a reducciones en la abundancia y extinción de especies de plantas y animales mucho más grandes que lo previsto en evaluaciones de la biodiversidad mundial previas. Por otra parte, los incendios generalizados y mortalidad de la selva, podrían llegar a una degradación masiva de los servicios de regulación y sustento, como la pérdida de carbono almacenado en la vegetación y los suelos que podría ser lo suficientemente grande como para influir de manera significativa en las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico y el cambio climático.

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Moderado – muchos de los mecanismos biofísicos se han entendido razonablemente bien, pero no tanto la respuesta de las selvas a la sequía y a los incendios. Algunas observaciones y experimentos llevan a predicciones de mortalidad, pero otros sugieren que las selvas tropicales son menos sensibles a las sequías que lo que algunos modelos predicen. La respuesta de las selvas al aumento del CO<sub>2</sub> es un determinante crítico de la mortalidad proyectada, pero no está bien comprendido.



antes y después: iStockphoto.com



**LA CERTIDUMBRE DE LOS ESCENARIOS**

Moderado a bajo – Hay incertidumbre sustancial en el mecanismo del punto de inflexión del uso del suelo, pero diversos estudios de modelos sugieren que hay un riesgo significativo de mortalidad cuando la deforestación exceda 20%–40% del área original de la selva. Para el mecanismo de cambio climático mundial, hay grandes diferencias entre los modelos de clima y vegetación con respecto a los regímenes de lluvias e impactos sobre la selva.

**ACCIONES CLAVE**

Un criterio de precaución sugiere que la deforestación no debe exceder 20% del área de la selva original, se debe reducir al mínimo el uso de incendios para abrir a selva y el calentamiento global deberá mantenerse por debajo de 2° C con el fin de evitar este punto de inflexión. Esto requeriría de esfuerzos concertados que pongan en marcha prácticas agrícolas sustentables, establecer grandes áreas protegidas, reducir las presiones nacionales y mundiales para aumentar la producción de alimento y carne, etcétera. Si son puestas en marcha de la manera adecuada, la aplicación de iniciativas REDD (por sus siglas en inglés) podría llevar a una situación de ganar-ganar para la biodiversidad y el clima. De acuerdo con las tendencias actuales seguramente se llegará a una deforestación acumulativa de 20% en el Amazonas brasileño en, o cerca del 2020. Con el fin de construir un margen de seguridad, el desarrollo de un programa de restauración forestal significativa, sería una medida prudente.

\* El texto original de este punto de inflexión fue preparado por Carlos Nobre (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, nobre@cptec.inpe.br), Paul Leadley (Université Paris-Sud XI, paul.leadley@u-psud.fr) y Juan Fernández (Université Paris-Sud XI, paul.leadley@u-psud.fr) y está disponible en el apéndice 3. Literatura adicional: Betts et al. 2008, Malhi et al. 2008, Nepstad et al. 2008, Nobre y Borma 2009. World Bank. 2010.

ya que las proyecciones de los modelos climáticos para la precipitación son diametralmente opuestas y porque la evolución de la gobernanza es excepcionalmente difícil de predecir en esta región. Hay una incertidumbre relativamente alta referente al punto de inflexión del Amazonas, pero si la amplia mortalidad de la selva amazónica se produjera a lo largo de las próximas décadas, tendría grandes impactos abrumadoramente negativos sobre la biodiversidad, la precipitación pluvial regional y el clima mundial. Uno de los puntos de inflexión más inciertos es el del Miombo, pero el gran potencial de impactos extremadamente grandes sobre la pérdida de especies y hábitat en el futuro cercano hace que exista mucha preocupación por esta región.

**LA MAYORÍA DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN TERRESTRES SON EL RESULTADO DE COMPLEJOS MECANISMOS E INTERACCIONES QUE NO ESTÁN CONTABILIZADOS EN LOS MODELOS** – Sala et al. (2005) identificaron las interacciones entre una gran variedad de impulsores de los cambios globales como las incógnitas más importantes para modelar los cambios futuros de la biodiversidad. Sin embargo, los modelos solamente atienden un intervalo pequeño de impulsores del

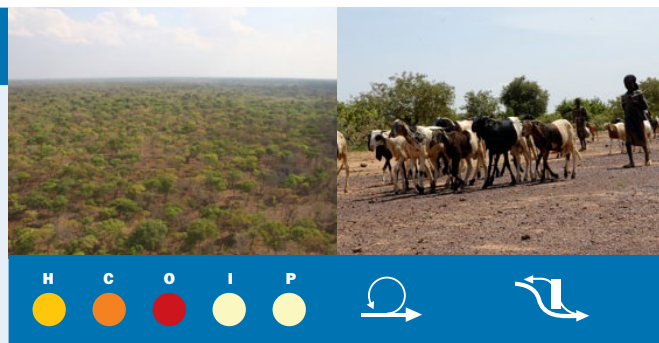
cambio global y dependen de métodos que, cuando mucho, solamente consideran parcialmente las interacciones entre impulsores. De los puntos de inflexión que hemos identificado, solamente el de la Tundra ha sido representado razonablemente bien en los modelos, ya que depende casi por completo de las interacciones entre el cambio climático global, los cambios extensos de la vegetación y retroalimentaciones físicas y de gases de efecto invernadero al clima mundial, que son procesos que están incorporados en muchos de los modelos (figura 8 y figura 9). Uno de los mecanismos de los puntos de inflexión del Amazonas rara vez es considerado en los modelos globales (pero véase la figura 9, Triffid), porque la mayoría de los modelos no considera retroalimentaciones dinámicas entre la vegetación y el clima regional. El fuego y sus interacciones con el manejo de la tierra son impulsores clave de varios de los puntos de inflexión (véase los puntos de inflexión del Amazonas, Mediterráneo, Miombo y África occidental). Por ejemplo, varios modelos regionales y mundiales incluyen al fuego<sup>35</sup>, pero tomar en cuenta su interacción con el manejo de la tierra sigue siendo una tarea difícil. Las especies invasoras rara vez son contabilizadas

**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

En África occidental los sistemas humanos-ambiente van de la mano, se extienden desde el sur del Sahara, hacia el Sahel y hasta el bosque tropical de Guinea y son vulnerables a tres puntos de inflexión que interactúan de manera muy fuerte: 1) En las porciones semiáridas de esta región los procesos de “desertificación” están provocados por el sobreuso de tierras que son marginalmente productivas lo que lleva a la degradación de la vegetación y suelos, lo que es difícil de revertir. 2) Los modelos sugieren que el clima regional es muy inestable, y los modelos proyectan, como resultado del calentamiento global, un cambio ya sea a regímenes más secos o más húmedos. 3) La inestabilidad política y social promueve el uso sin regular de los recursos naturales y ocasiona migraciones humanas a regiones que ya están bajo condiciones de estrés ambiental, lo que con frecuencia dispara más trastornos políticos y sociales. Estos procesos juntos pueden ocasionar ciclos viciosos en los cuales la sequía, el uso excesivo de los recursos y la inestabilidad política ha llevado y se proyecta que llevará a una amplia degradación de la tierra, destrucción de los hábitats naturales e impactos catastróficos para el bienestar humano. En el otro extremo, ciclos virtuosos disparados por el clima favorable, buen gobierno y mejores prácticas agrícolas, han llevado a y podrían seguir llevando a revertir la degradación de la tierra, a reducir los impactos sobre los hábitats naturales y mejoras en el bienestar humano.

**IMPACTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

Muchos estudios han documentado la reducción en la diversidad de especies debido a la degradación del hábitat en las áreas semiáridas de ésta región, al igual que la tremenda dificultad para restaurar las tierras una vez que han sido degradadas debido a la compactación del suelo, erosión y salinización. Además, los escenarios del uso del suelo para el área prevén tasas muy altas de conversión en el uso del suelo en las próximas décadas, en particular la destrucción de las muy diversas selvas de Guinea que se caracterizan por tener un alto endemismo (por ejemplo 38% de los anfibios y 21% de los mamíferos son endémicos). Los ecosistemas en esta región son una fuente mayor de capital natural para las poblaciones locales, ya que la mayoría de las economías locales se basan en la explotación directa de los ecosistemas. Por lo tanto, la degradación de los ecosistemas tendrá impactos negativos directos en el bienestar humano.



antes: Terry Feuerborn, Flickr.com  
después: Claude Delhaye, ONRS Photothèque

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Moderado a bajo – Toda la región está afectada por la degradación de las tierras y la destrucción del hábitat y los mecanismos están bien documentados. Los mecanismos regionales de los puntos de inflexión y los procesos sociales son complejos y difíciles de modelar.

**LA CERTIDUMBRE DE LAS PROYECCIONES**

Baja – La complejidad de las interacciones entre los factores, proyecciones climáticas diametralmente opuestas y una gran inestabilidad política, hacen que el futuro de esta región sea muy incierto, a pesar de que una gran cantidad de gente pueda ser afectada.

**ACCIONES CLAVE**

Las estrategias para mejorar la gobernanza con frecuencia fallan debido a la inestabilidad política y conflictos, pero se necesitan con urgencia con el fin de limitar el uso sin regular de los recursos naturales, incluso dentro de las áreas protegidas. Las regulaciones internacionales deberían de controlar la demanda internacional de recursos locales, disminuyendo así la exportación sin regular de productos en crudo y soportar así el uso de la biodiversidad que no sea destructivo. Las iniciativas REDD podrían ayudar a proteger las selvas de Guinea si son puestas en marcha de la manera adecuada.

\* El texto original para este punto de inflexión fue preparado por Cheikh Mbow (Université Cheikh Anta Diop, cmbow@ucad.sn), Mark Stafford Smith (CSIRO, mark.staffordsmith@csiro.au) y Paul Leadley (Université Paris-Sud XI, paul.leadley@u-psud.fr) y está disponible en el apéndice 4. Literatura adicional: Ludeke et al. 2004, African Environmental Outlook 2 2006, Cooke y Vizy 2006, Reynolds et al. 2007, Mbow et al. 2008.

en los escenarios de biodiversidad a pesar de que tienen un gran impacto en la biodiversidad de los ecosistemas terrestres<sup>36</sup> y son de las principales causas de la pérdida de la biodiversidad en islas. La gobernanza o su carencia, juega un papel crítico en todos los puntos de inflexión. Una regulación razonable de la construcción en áreas costeras podría limitar algo del impacto del aumento del nivel del mar sobre la biodiversidad; la planeación regional del uso del suelo podría ayudar a balancear entre la necesidad de los servicios de suministro de bienes por un lado, y la conservación de la biodiversidad por otro, etcétera. Es excepcionalmente difícil de incluir en los modelos globales este tipo de gobernanza local y regional, pero con frecuencia es la clave para evitar muchos de los puntos de inflexión. Estos y muchos otros ejemplos en nuestros análisis de los puntos de inflexión, muestran que estamos lejos de entender la predicción de la mayoría de los puntos de inflexión. Esto no significa que estamos incapacitados para prever estos puntos de inflexión con cierta confianza: sin embargo sí significa que con frecuencia no podemos darles a los tomadores de decisiones umbrales cuantitativos a partir de los cuales el sistema muy probablemente cambiará a un estado indeseable.

**PARA EVITAR LAS CATÁSTROFES DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN SE NECESITA DE ACCIONES CONCERTADAS A ESCALAS LOCALES Y GLOBALES –**

Se necesita intervención local firme para evitar superar los umbrales de la mayoría de los puntos de inflexión. La muy grande variedad de acciones locales que se necesitan hace que sea difícil resumirlas. Sin embargo, utilizando las bien conocidas prácticas sustentables de manejo de la tierra y una planeación firme del uso del suelo, se llegará muy lejos para aliviar las presiones locales de la mayoría de los puntos de inflexión. Por ejemplo, en el Miombo arbolado la moderada pero sostenible intensificación de la agricultura y buena planeación espacial de las áreas para agricultura y conservación, podrían mejorar el bienestar humano y conservar la biodiversidad. Poner estas ideas simples en acción es complejo desde el punto de vista económico y social, ya que dependen en una mejora en la educación, buena gobernanza, reducción de la pobreza, etcétera, así como cambios constructivos en las presiones globales sobre la economía y política nacional y local<sup>37</sup>.

Se debe combinar la acción local con la global con el fin de evitar pasar los umbrales de la mayoría de los puntos de inflexión. El cambio climático global



**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

El cinturón de la mayoría de las sabanas, los “miombos arbolados”, que se extienden desde el sur de las selvas tropicales del Congo de Angola a Tanzania, es uno de los ecosistemas, casi intactos, más grandes que quedan en el mundo. Los puntos de inflexión socioeconómicos y ecológicos serán determinantes clave del futuro de estas sabanas. 1) Si el crecimiento poblacional excede el crecimiento económico durante las próximas décadas, se proyecta que la región estará atrapada en un círculo vicioso de extender la agricultura y pobreza que darán como resultado una destrucción amplia del miombo arbolado. Un círculo virtuoso de intensificación de la agricultura de manera sustentable y alivio de la pobreza, podría minimizar la destrucción y es previsible si pronto hay crecimiento económico firme y buena gobernanza. 2) Los ecosistemas del miombo también se caracterizan por tener una cobertura arbórea inestable en donde hay cambio climático, aumento en el CO<sub>2</sub> y regímenes de incendios alterados y la herbivoría podrían cambiar estas sabanas, que son pastizales con una escasa cobertura arbolada, a una selva densa.

**IMPACTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

El bioma del miombo es extenso (de más de 3 millones de km<sup>2</sup>), alberga unas 8 500 especies de plantas y se caracteriza por tener un alto nivel de endemismo. Todos los escenarios socioeconómicos de la EM y GEO4 prevén la conversión masiva del miombo arbolado a la agricultura en las próximas décadas, lo que hace que esta sea el área del mundo en que se proyecta un impacto más fuerte por los cambios en el uso del suelo. Se proyecta para 2050, que el cambio en el uso del suelo ocasione altas tasas de extinciones de vertebrados y plantas y que se reduzca la abundancia de una amplia variedad de especies características de los bosques por más del 20%. Además, el cambio climático y el aumento en el CO<sub>2</sub> generalmente se proyecta que aumentarán la cobertura arbórea y que disminuya la abundancia de pastos en áreas que no se han convertido a la agricultura. Estos cambios en la cobertura del suelo tendrán grandes impactos negativos sobre los servicios ecosistémicos como en el almacenamiento del carbono y abastecimiento de agua, que se espera será más variable y de menor calidad.

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Moderado a bajo – Está bien descrita la “trampa de pobreza” en la raíz de los puntos de inflexión socioeconómicos, pero sus causas e impactos



antes y después: Robert Höt

sobre el uso de la tierra son complejos. Los mecanismos que mantienen el delicado balance entre los árboles y los pastos de las sabanas se comprenden razonablemente bien, pero modelar los factores clave, incendios y grandes herbívoros, sigue siendo difícil.

**LA CERTIDUMBRE DE LAS PROYECCIONES**

Baja – El punto de inflexión del uso del suelo depende en gran medida de las tasas relativas de crecimiento poblacional vs económico, las cuales no pueden ser proyectadas con confianza a largo plazo en el futuro. Muchos modelos de vegetación mundiales proyectan un aumento en la cobertura arbórea para esta región, pero el grado y extensión del cambio varía enormemente.

**ACCIONES CLAVE**

Intensificación moderada y sustentable de la agricultura junto con una buena planificación del uso de la tierra que incluya áreas protegidas deberá permitir que sean preservados la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, y que al mismo tiempo se hagan grandes avances para aliviar la pobreza. La aplicación de las iniciativas REDD+ en el miombo arbolado podrían ser gana-gana para la biodiversidad y el clima si ejecutadas de la manera adecuada. La educación, grandes mejoras en la agricultura y buena gobernanza son claves para evitar estos puntos de inflexión, con proyecciones que sugieren que se está cerrando rápidamente la ventana de oportunidad para alterar, en esta región, ésta trayectoria de conversión de la tierra.

\* El texto original de este punto de inflexión fue preparado por Robert J Scholes (Council for Scientific and Industrial Research, bscholes@csir.co.za) y Reinette Biggs (Stockholm Resilience Centre, oonsie.biggs@stockholmresilience.su.se) y está disponible en el apéndice 5. Literatura adicional: Frost *et al.* 1996, Desanker *et al.* 1997, Scholes y Biggs 2004, Biggs *et al.* 2008.

es de particular importancia, ya que es un impulsor clave en muchos de los puntos de inflexión. Sin embargo, son pocos los ejemplos que representan umbrales definidos claramente. El sistema de la tundra posiblemente ya ha pasado su punto de inflexión climático, pero los modelos sugieren que la mitigación del cambio climático podría jugar un gran papel en reducir la tasa y extensión de los cambios en el bioma en grandes latitudes. El Amazonas puede tener un punto de inflexión de calentamiento global de unos 2° C, así que el cambio climático podría empujar a la selva amazónica más allá de su umbral, a pesar de los grandes esfuerzos locales y nacionales para limitar la deforestación. En otros sistemas, el cambio climático juega un papel importante, pero tiene interacciones complejas con otros impulsores, lo que hace difícil identificar los umbrales. Claramente, el curso de acción más razonable es limitar el cambio climático a través de políticas internacionales firmes. Se deben mejorar otros esfuerzos internacionales coordinados con el fin de limitar el intercambio de especies potencialmente invasoras; mejorar las prácticas agrícolas, especialmente en países en desarrollo;

apoyar la conservación y uso sustentable de los bosques; etcétera.

Los escenarios sugieren que, con frecuencia, el abasto de alimento y fibras aumentará a expensas de la biodiversidad y muchos otros servicios ecosistémicos. Sin embargo, más allá de ciertos umbrales, se proyecta que el cambio global ocasionará una degradación dramática de la biodiversidad y de todo tipo de servicios ecosistémicos.

La idea de que la biodiversidad está relacionada al bienestar humano a través de los servicios ecosistémicos, es un marco de referencia extremadamente poderoso para demostrarle al público y a los tomadores de decisiones que la biodiversidad sí importa<sup>38</sup>. Un nuevo estudio sobre “la economía de los ecosistemas y la biodiversidad” (TEEB, por sus siglas en inglés) está empezando a proporcionar ilustraciones concretas de la relación entre la biodiversidad, servicios ecosistémicos y la economía. Referimos al lector a los documentos de TEEB para que vea los excelentes estudios de caso del valor de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que

**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

La introducción de un pequeño número de individuos de especies invasoras clave (por ejemplo gatos, ratas, serpientes, cabras, una gran variedad de especies de plantas, etcétera), seguidas de la expansión de sus poblaciones (a que se refiere como “naturalización”) tiene y continuará ocasionando una degradación grave de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de las islas. Los sistemas insulares son particularmente vulnerables a las especies invasoras porque la biota de estas comunidades insulares evoluciona en aislamiento y con frecuencia carecen de las defensas contra los patógenos externos, competidores y depredadores. Además, las especies invasoras pueden disparar un conjunto de extinciones en cascada e inestabilidades ecológicas, lo que hace que las islas sean todavía más susceptibles a posteriores invasiones. Para empeorar la situación, una vez que se establecen, la mayoría de las especies invasoras son costosas y difíciles de erradicar y, con frecuencia, su eliminación puede tener efectos negativos inesperados sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

**IMPACTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

La dispersión de las especies y su establecimiento en nuevos hábitats es un proceso natural, pero las tasas actuales de translocación geográfica de plantas y animales, ocasionadas por el ser humano, han alcanzado niveles sin precedentes. Al corto plazo, la coexistencia de las especies invasoras con las nativas aumenta la riqueza de especies en la mayoría de las islas. Sin embargo, los depredadores invasivos con frecuencia eliminan a la fauna local – con una mortalidad particularmente alta en aves. Debido a que las islas son *hotspots* mundiales para las especies endémicas, las eliminaciones locales con frecuencia representan extinciones globales. De alrededor de las 90 extinciones de vertebrados que se le pueden atribuir a especies invasoras en el mundo, más de 70 sucedió en islas. Las plantas son mucho menos susceptibles a la extinción, pero todas las extinciones globales registradas relacionadas con invasoras lo han sido en islas. Hay pocas proyecciones de invasiones en islas, pero la falta de control de intercambio biótico y el gran número de poblaciones latentes de invasoras, se proyecta que continúe con el actual aumento linear en el número de especies de plantas invasoras naturalizadas en islas. También hay preocupación de que muchas especies endémicas de plantas y animales de islas estén “condenadas a la extinción” debido a los efectos



antes y después: Kate Meier, Australian Antarctic Division

a largo plazo de las invasoras sobre sus poblaciones. Una gran variedad de estudios han ilustrado los grandes impactos negativos de muchas especies invasoras sobre los servicios ecosistémicos como son la productividad de las plantas, el ciclo de nutrientes, suministro de agua, etcétera.

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Moderado – muchos de los animales invasores más problemáticos son relativamente bien conocidos, pero sus rutas de introducción no se han entendido completamente, en especial para plantas. Los esfuerzos de erradicación con frecuencia llevan a sorpresas poco placenteras debido a la carencia de conocimiento para entender la dinámica de las comunidades.

**LA CERTIDUMBRE DE LAS PROYECCIONES**

Moderada – Las tendencias actuales y los aumentos proyectados en la globalización dejan pocas razones para creer que las invasiones en islas puedan ser controladas en el futuro cercano.

**ACCIONES CLAVE**

Las opciones de manejo consisten de dos enfoques principales, la prevención de la invasión de especies, que necesita de un gran esfuerzo para identificar y regular las posibles vías de invasión, y el control o erradicación de las especies invasoras, lo que no siempre es efectivo debido a la dificultad de remover de manera segura a las especies invasoras ya establecidas.

\* El texto original de este punto de inflexión fue preparado por Michael Jennings (University of Idaho, jennings@uidaho.edu). Una larga descripción de este punto de inflexión preparado por Stas Burgiel (Global Invasive Species Programme, s.burgiel@gisp.org) está disponible en el apéndice 6. Literatura adicional: Mooney *et al.* 2005, Nentwig 2007, Sax y Gaines 2008.

se le relacionan<sup>39</sup>. A continuación proporcionamos una visión general de los temas clave que se relacionan con las proyecciones de la biodiversidad y servicios ecosistémicos.

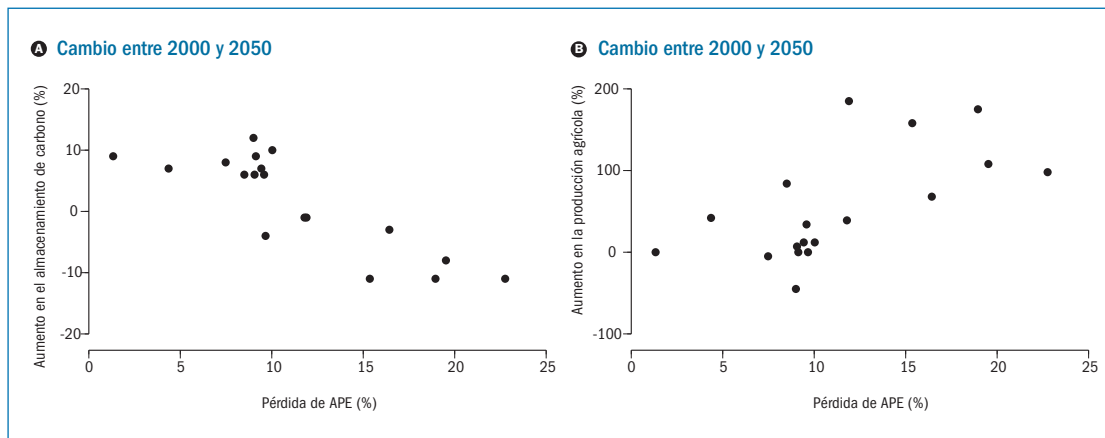
**NO TODOS LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS RESPONDEN DE LA MISMA MANERA A LOS CAMBIOS EN LA BIODIVERSIDAD –**

Casi todos los escenarios sugieren que los servicios de suministro de bienes como la producción de alimento y fibras no podrán ser alcanzados para las grandes poblaciones humanas y en continuo crecimiento, sin que se conviertan los hábitats naturales a campos de cultivo o bosques manejados<sup>40</sup>. Históricamente con frecuencia esto ha sido a costa de reducciones en la abundancia de las especies, un mayor riesgo de extinción de especies y la degradación de otros servicios ecosistémicos, en particular los servicios de regulación como la retención de nutrientes, suministro de agua limpia, control de la erosión del suelo y almacenamiento del carbono en el ecosistema<sup>41</sup>. Un nuevo análisis cuantitativo de las proyecciones de los modelos IMAGE y GLOBIO, sugiere que es probable que continúe esta compensación a escala global, utilizando como ejemplo la relación entre la abundancia de las especies, la productividad agrícola y un servicio

de regulación clave, el almacenamiento del carbono del ecosistema (figura 10). Para la ruta de desarrollo “tudo sigue igual”, se proyecta que la productividad agrícola aumentará mientras que la abundancia de las especies características de los sistemas naturales y el almacenamiento de carbono bajarán. Los servicios de regulación que dependen de la configuración o del patrón espacial del paisaje, por ejemplo el control de plagas o la polinización, muestran relaciones más complejas. Para estos servicios parece que una mezcla de vegetación natural y campos agrícolas es el óptimo<sup>42</sup>. Los servicios culturales también pueden tener una relación compleja con la biodiversidad, ya que algunos de estos servicios<sup>43</sup>, tal como la recreación, se relacionan con el acceso humano, que a su vez pueden tener un efecto negativo sobre la biodiversidad<sup>44</sup>.

**EMPUJAR A LOS SISTEMAS TERRESTRES A QUE PASEN CIERTOS UMBRALES PODRÍA RESULTAR EN GRANDES IMPACTOS NEGATIVOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y UNA AMPLIA GAMA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS –**

Nuestros análisis de los puntos de inflexión sugieren que las ventajas y desventajas entre los servicios de suministro de bienes, biodiversidad y otros servicios



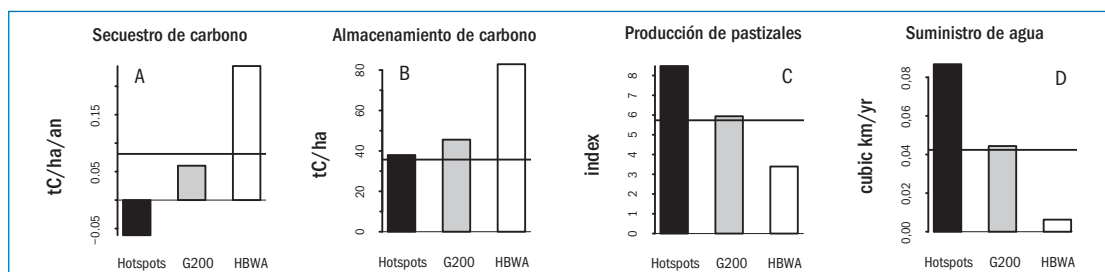
**FIGURA 10** RELACIONES ENTRE LAS PROYECCIONES DE LOS CAMBIOS EN LAS ABUNDANCIAS DE ESPECIES Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE 2000 A 2050.

A) Cambios proyectados en almacenamiento de carbono (un servicio de regulación)<sup>110</sup> versus los cambios proyectados en la abundancia promedio de especies (APE) ( $r = -0.84$ ). B) Cambios proyectados en la productividad agrícola (estimada usando la productividad primaria neta) versus cambios proyectados en APE ( $r = 0.63$ ). APE fue calculado utilizando el modelo GLOBIO (Alkemade et al. 2009) y los servicios ecosistémicos usando el modelo IMAGE (Bouwman et al. 2006). Cada punto corresponde a una región del mundo en el modelo IMAGE. Todas las proyecciones se basan en el escenario de la perspectiva medioambiental de la OECD (OECD 2008).

ecosistémicos, son viables solamente hasta ciertos umbrales. Si los sistemas terrestres son empujados más allá de estos umbrales, hay un alto riesgo de pérdida dramática de la biodiversidad y la conjunta degradación de una amplia variedad de servicios ecosistémicos. En el Amazonas, una combinación de la deforestación, incendios y cambio climático global, podría llevar a la mortalidad de la selva, extinciones masivas de especies, aumento en el calentamiento global y reducciones regionales en la precipitación, que podría comprometer la sustentabilidad de la agricultura regional (recuadro 4). El aumento rápido del nivel del mar, acompañado de la conversión del hábitat, podría llevar a un aumento sustancial de la degradación de los ecosistemas costeros y biodiversidad, lo que haría que las costas fueran más vulnerables a la erosión y se reduciría la productividad de los ecosistemas marinos costeros (recuadro 8). En la región de Sahel de África occidental, las interacciones entre el clima, el uso del suelo y dinámica social, tienen y podrían continuar ocasionando pérdidas en la biodiversidad y la escasez de alimentos, fibra y agua (recuadro 5). Esta

misma mezcla de factores podría llevar a provocar que lleven a cambios en el ecosistema y a la degradación de la cuenca del Mediterráneo (recuadro3) y en los Miombo arbolados de África (recuadro6). En todos los casos, la retroalimentación y retrasos largos podrían hacer que estas transiciones fueran esencialmente irreversibles en décadas o siglos. Todos estos escenarios indican que una presión excesiva sobre los ecosistemas para que aumenten los servicios de suministro de bienes en realidad podrían cambiar al sistema hacia un estado en el que se comprometieran estos mismos servicios.

**LOS SERVICIOS DE SUMINISTRO DE BIENES, SOPORTE Y REGULACIÓN NO DEBEN DE SER VENDIDOS COMO LA ÚNICA MOTIVACIÓN PARA CONSERVAR LA BIODIVERSIDAD –** Hemos identificado, especialmente con nuestros análisis de los puntos de inflexión, una serie de situaciones ganar-ganar, en las cuales la protección de la biodiversidad va de la mano con la protección de servicios clave de suministro de bienes y de regulación. Sin embargo, en los casos en los que no se pasen umbrales importantes, hay muchos



**FIGURA 11** MODELO DEL IMPACTO DE TRES ESQUEMAS DE CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.

El esquema de conservación de los “Hotspots” se centra en los hotspots de biodiversidad, el esquema “G200” se concentra en conservar las regiones representativas de ecorregiones del mundo y el esquema “HBWA” lo hace en áreas silvestres que tienen mucha biodiversidad. Las líneas horizontales representan el promedio mundial para cada servicio. Los valores para los servicios ecosistémicos son por unidad de área dentro de las áreas protegidas. Fuente: Naidoo et al. 2008. Copyright (2008) National Academy of Sciences, U.S.A.

**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

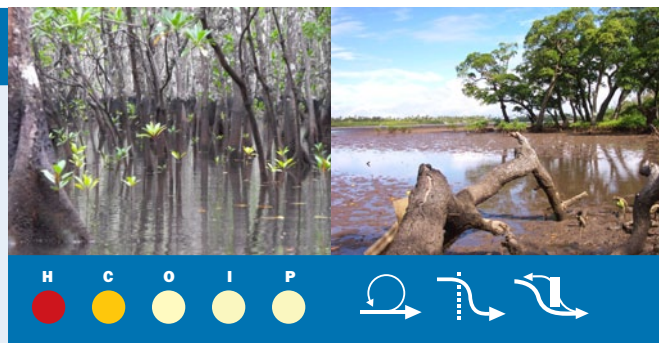
Con base en monitoreos, experimentos y modelaciones, el aumento en el nivel del mar puede ser la mayor amenaza futura para los humedales que son regulados por las mareas y playas. Un punto de inflexión ocurre cuando la elevación de la superficie de un ecosistema costero no mantiene el paso con el aumento en el nivel del mar; es decir, el balance entre el aumento del nivel del mar y las tasas de sedimentación tienen como resultado inundaciones. Cuando sucede este punto de inflexión, el área del ecosistema costero puede ser reducida rápidamente hasta un punto en el que se reduzca a una angosta franja o que se pierda. Los factores de estrés no climáticos adicionales sobre los ecosistemas costeros, como es el que se reduzca la cantidad de sedimentos que llegan a las zonas costeras debido a las presas, cambios en los lechos de los ríos, etcétera, así como aumentos en la contaminación, aumentan la vulnerabilidad de los ecosistemas costeros al aumento del nivel del mar. Los modelos de sistemas terrestres proyectan que aumentará el nivel del mar de 20 a 60 cm o más hacia el final del siglo, y el nivel del mar seguirá aumentando por muchos siglos después de que cesen todas las emisiones de CO<sub>2</sub>.

**IMPACTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

El aumento del nivel de los mares probablemente tendrá los mayores impactos en los humedales costeros que experimenten reducciones netas en el aumento del nivel de los sedimentos, y en donde hay área limitada para una migración tierra adentro debido al acomodo fisiográfico u obstáculos que impone el desarrollo urbano. Serán grandes los impactos sobre la biodiversidad debido a la pérdida de hábitat para anidar, cría y forrajeo para numerosos grupos de especies, incluyendo peces, mariscos, aves marinas y acuáticas, tortugas marinas, cocodrilos, manatíes y dugongs. Por ejemplo, la mayoría de los sitios con manglares estudiados no han mantenido el paso con las actuales tasas de aumento relativo del nivel del mar. Como resultado, se proyecta que el aumento del nivel del mar contribuya con el 10 al 20% del total de las pérdidas estimadas en manglares en las islas del Pacífico hacia finales de este siglo. Una reducción en el área del ecosistema y su condición, aumentará los peligros costeros para los asentamientos humanos, disminuirá la calidad del agua costera, liberará grandes cantidades de carbono, etcétera.

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Alto a mediano – Los mecanismos de aumento de los océanos debido a la expansión térmica del agua de mar y el derretimiento de los océanos



antes: Joanna Ellison  
después: Eric Gilman

están lo suficientemente bien entendidos como para predecir la dirección y, en menor grado, la tasa de elevación del nivel del mar, incluyendo una muy pequeña probabilidad de aumento de manera catastrófica (varios metros) para finales del siglo. Algunos mecanismos que rigen las tasas de sedimentación son bien conocidos, otros no tanto.

**LA CERTIDUMBRE DE LAS PROYECCIONES**

Alta – El aumento del nivel del mar ya está ocurriendo y ocasionando daños en regiones bajas, y todas las tendencias y modelos apuntan a que aumentarán los impactos a lo largo del siglo siguiente. Las incertidumbres se refieren a la tasa y extensión a la que ocurrirá el daño a los ecosistemas costeros.

**ACCIONES CLAVE**

La resistencia y resiliencia de los ecosistemas costeros al aumento de los mares puede ser mejorada a través de planeación en la costa con el fin de facilitar la migración tierra adentro, 'sin remordimientos' por reducir los factores de estrés adicionales, incluyendo el manejo de captación con el fin de minimizar la perturbación de los procesos de sedimentación, la rehabilitación de las áreas degradadas y un aumento en el número de áreas protegidas que incluyan la funcionalidad de ecosistemas costeros que estén vinculados. A nivel global, es esencial contar con medidas agresivas de mitigación del cambio climático. El establecer sistemas de monitoreo de los ecosistemas costeros permitirá que se comprenda mejor las respuestas de estos ecosistemas al aumento del nivel del mar e al cambio climático global.

\* El texto original de este punto de inflexión fue preparado por Eric Gilman (Global Biodiversity Information Facility Secretariat, egilman@gbif.org) y Joanna C. Ellison (University of Tasmania, joanna.ellison@utas.edu.au) y está disponible en el apéndice 7. Literatura adicional: Morris et al. 2002, Cahoon et al. 2006, Gilman et al. 2008.

escenarios en los que la conservación de la biodiversidad no da como resultado estas soluciones ganar-ganar<sup>45</sup>. Utilizamos un estudio de los vínculos entre las estrategias de conservación globales y servicios ecosistémicos, para ilustrar este punto (figura 11). Los esquemas prioritarios de conservación a nivel global que se enfocan en áreas silvestres con baja densidad humana se predice que tendrán como resultado más beneficios para la comunidad mundial a través de un aumento en el almacenamiento y secuestro de carbono (Figura 11-HBWA). En el otro extremo, enfocando los esfuerzos de conservación en *hotspots* de biodiversidad densamente poblados, se hace un trabajo mucho más pobre para servir a la comunidad global en términos de almacenamiento y secuestro de carbono, pero un trabajo mucho mejor para asegurar el suministro de agua y producción de pastura para ganado que beneficia a las comunidades locales (figura 11-*Hotspots*). Las estrategias de conservación deben ser motivadas después de examinar una amplia variedad de servicios ecosistémicos, incluyendo los culturales que se relacionan con el valor de la biodiversidad desde el punto de vista estético, espiritual, etcétera.

La conservación sustentable dependerá de asegurar un balance apropiado y socialmente aceptable entre un conjunto de servicios completos.

**LA ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES CLAVE, GRUPOS DE ESPECIES FUNCIONALES Y BIOMAS, PROPORCIONA LA LIGA MÁS CLARA ENTRE LA BIODIVERSIDAD TERRESTRE Y LOS SERVICIOS DE REGULACIÓN Y PROVISIÓN**

– Se han demostrado los vínculos que hay entre la reducción de la riqueza de especies dentro de las comunidades y los servicios ecosistémicos, pero solamente a escalas espaciales y temporales pequeñas, para una variedad limitada de ecosistemas. Aun así, todavía no podemos aumentar la escala de estas relaciones a un nivel regional o global o utilizarlos en proyecciones<sup>46</sup> y, por lo tanto, no tenemos suficiente información como para abordar las relaciones generales entre la pérdida de especies y los servicios ecosistémicos.

Las “especies clave” son especies o grupos de especies que juegan papeles particulares en el control de los servicios ecosistémicos. Algunos de los grupos de especies clave más importantes son los

depredadores, como los grandes carnívoros; los mutualistas como los polinizadores; y especies que juegan el papel de “ingenieros” en los ecosistemas porque modifican su estructura y funcionamiento, como lo hacen especies dominantes de plantas. Las actividades humanas tienen impactos desproporcionadamente grandes en algunos de estos grupos, en especial sobre grandes depredadores y mutualistas. Por ejemplo, se ha detectado una disminución en la diversidad y abundancia de los polinizadores de varias regiones del mundo, como es el caso de las abejas europeas en Norteamérica y de abejorros en Europa. Los polinizadores juegan un papel clave en mantener la diversidad de especies y el funcionamiento de los ecosistemas naturales, pero también son responsables de la polinización de muchos cultivos. A escalas mundiales las reducciones esperadas en la producción total de alimentos que se deriva de la disminución de la polinización varía de 3 a 8%, con una pérdida de entre 190 y 310 mil millones de dólares al año<sup>47</sup>.

Una amplia variedad de análisis que se basan en modelos de los procesos de los ecosistemas (por ejemplo GVM) muestra que la mayoría de los cambios en la abundancia o distribución de las plantas de tipo funcional debido al cambio del uso del suelo o del clima alterará de manera significativa el flujo de agua en los ríos, la lluvia regional, los regímenes de incendios, almacenamiento del carbono en el ecosistema, clima mundial, etcétera<sup>48</sup>. Los efectos de grandes transformaciones en los tipos de vegetación terrestre son abrumadoramente más grandes que las reducciones en la riqueza de las especies por sí mismas. Hemos dependido, en gran medida, en estudios de modelos de vegetación a nivel global para vincular la biodiversidad y los servicios de regulación (véase especialmente los puntos de inflexión del Amazonas y la tundra). De manera similar, mucha de la valuación económica del impacto del cambio global sobre los servicios ecosistemas terrestres se ha enfocado en la mayoría de las transformaciones de los ecosistemas que se caracterizan por cambios en especies de plantas o animales clave, especies funcionales o tipos de vegetación, contrario a cambios en la riqueza de especies o especies extintas<sup>49</sup>.

**Escenarios en donde se usa una actitud proactiva, sustentable hacia el ambiente, tiene más éxito para detener la pérdida de la biodiversidad y los cambios negativos en los servicios ecosistémicos.**

**LA TIERRA DEBE SER UTILIZADA MÁS EFICIENTEMENTE PARA ALIMENTAR, DARLE HOGAR, VESTIDO Y ENERGÍA A LA POBLACIÓN MUNDIAL** – Las tendencias actuales y las proyecciones obtenidas a partir de modelos concuerdan en que el uso del suelo es y seguirá siendo el factor más importante que lleva a cambios en la diversidad

y servicios ecosistémicos. Es esencial mejorar la productividad agrícola por medio de usar mejores prácticas sustentables, reducir las pérdidas posteriores a la cosecha, modificar las dietas de tal manera que incluyan menos productos animales, y aplicar más ampliamente prácticas forestales sustentables, con el fin de reducir la pérdida del hábitat y para preservar la biodiversidad. Además, promoviendo un menor crecimiento poblacional de las poblaciones humanas, se reduce la presión que se ejerce sobre la tierra. Se proyecta que las presiones más fuertes sobre la tierra serán en las zonas tropicales así que, en estas zonas, se debe prestar particular atención en aliviar las presiones locales, nacionales e internacionales sobre el uso del suelo.

**ES URGENTE MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO** – Si se mantienen las emisiones de gases de efecto invernadero a los niveles actuales, prácticamente todos los modelos proyectan que habrá cambios negativos extremadamente grandes sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Cambios extensos en las áreas de distribución de las especies y los biomas y es probable los puntos de inflexión ocurran cerca o antes de los 2° C meta que sugirió el IPCC. Sin embargo, se debe prestar considerablemente más atención a los efectos secundarios de las estrategias de mitigación del cambio climático sobre la biodiversidad y servicios ecosistémicos, además de la regulación del clima<sup>50</sup>. Particularmente, para minimizar la degradación del hábitat y la pérdida de especies es esencial evitar la agricultura extensiva de cultivos para bioenergía. Las rutas de desarrollo probables sugieren que las oportunidades para mitigar el clima sin un gran despliegue de biocombustibles, son mucho más grandes que lo que antes se pensó. Esto se debe en parte al hecho de que el despliegue masivo de biocombustibles puede ser contraproducente para reducir la meta de emisiones de gases de efecto invernadero debido al impacto directo e indirecto sobre el hábitat que ocasiona emisiones de carbono terrestres<sup>51</sup>.

**SI SON APLICADOS DE LA MANERA APROPIADA, LOS PAGOS POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PUEDEN AYUDAR A PROTEGER A LA BIODIVERSIDAD** – Las iniciativas como la REDD (por las siglas en inglés de deforestación y degradación reducida), cuyo objetivo es mantener el carbono fuera de la atmósfera por medio de proteger a las selvas tropicales intactas evitando que sean deforestadas, son buenos ejemplos de cómo los pagos por los servicios ecosistémicos pueden ayudar a conservar a la biodiversidad<sup>52</sup>. Sin embargo, tales esquemas deben ser aplicados con mucha cautela ya que proteger a los servicios ecosistémicos y conservar a la biodiversidad no es lo mismo, y por veces pueden entrar en conflicto, en especial si sólo se considera un conjunto de servicios ambientales muy pequeño.

**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

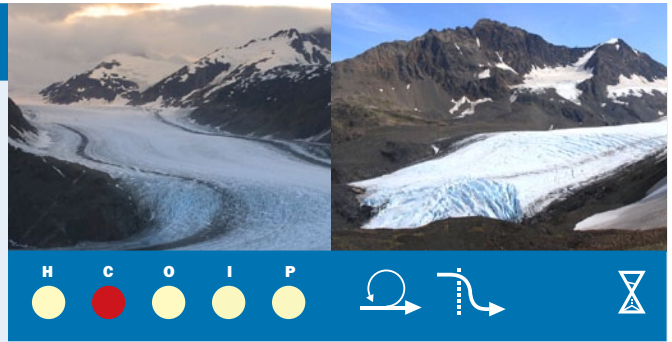
El cambio climático está alterando los ecosistemas de agua dulce que dependen del agua que proviene de la nieve acumulada y los glaciares, y las proyecciones calculan que estos efectos se acelerarán a lo largo del siguiente siglo. A nivel mundial, la mayor parte de los glaciares se están reduciendo y las acumulaciones de nieve anuales persisten por menos tiempo debido al cambio climático. Los modelos y las observaciones sugieren que los impactos del calentamiento global sobre los glaciares y los arroyos y ríos, que son alimentados por la nieve que se derrite, pasarán por dos fases contrastantes. En la primera fase, el flujo de los arroyos y ríos aumentará en general debido a que el derretimiento se intensificará. En una segunda fase, se cruzará un umbral cuando los campos nevados se derritan tan temprano y los glaciares se hayan reducido hasta el punto de que el flujo de los cauces sea reducido severamente. Se espera que los arroyos y ríos que son alimentados por glaciares y acumulaciones de nieve, al final del verano, cerca de sus límites altitudinales, sufran grandes reducciones del flujo de sus corrientes en las próximas décadas.

**IMPACTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

En la fase de aumento del flujo de las corrientes, la diversidad global y abundancia de especies puede incrementarse. Sin embargo, se ha proyectado que los cambios en la temperatura del agua y en el flujo de las corrientes tengan impactos negativos en endémicos con áreas de distribución pequeñas, como es el caso de especies de peces adaptadas a agua fría. La segunda fase de reducción en el flujo de agua a fines del verano se proyecta que tendrá un impacto negativo más amplio en las especies de agua dulce, en especial hacia el nacimiento de los ríos ya que las especies no podrán cambiar sus áreas de distribución a los hábitats apropiados. Es probable que los cambios en el flujo de los arroyos y ríos tengan graves impactos negativos en los servicios ecosistémicos cuando no sea posible depender de los flujos de agua a finales de los veranos.

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Alto a moderado — Son relativamente bien conocidos los impactos que el cambio climático tiene en el derretimiento de los glaciares, aunque



antes: Alan Vernon, Flickr.com  
después: Frank Kovalchek, Flickr.com

no lo es por completo la retroalimentación que aceleran el deslizamiento de los glaciares. Las proyecciones de las respuestas de las especies se basan en modelos empíricos que consideran tan sólo unos cuantos de los mecanismos que conducen la diversidad de especies y sus distribuciones.

**LA CERTIDUMBRE DE LAS PROYECCIONES**

Alta a moderada — Es difícil predecir el destino de algunos glaciares, en especial cuando el aumento en las nevadas puede ser un contrapeso cuando se derriten. Hay mucha seguridad de que, al derretirse la nieve y los glaciares, los cambios tendrán un impacto en la diversidad de agua dulce, pero la respuesta particular de cada especie es incierta.

**ACCIONES CLAVE**

Es imperativo abordar el cambio climático y reducir los gases de efecto invernadero. Pero para los ecosistemas de agua dulce es igual de importante minimizar los factores de estrés no climáticos como lo son las presas, la contaminación del agua, extracción de agua y pérdida del hábitat, ya que reduce la vulnerabilidad de los ecosistemas acuáticos y especies. Se debe considerar ayudar a la migración cuando las especies estén en riesgo de extinguirse a nivel mundial.

\* El texto original de este punto de inflexión fue preparado por Eric Gilman (Global Biodiversity Information Facility Secretariat, egilman@gbif.org) y Joanna C. Ellison (University of Tasmania, joanna.ellison@utas.edu.au) y está disponible en el apéndice 7. Literatura adicional: Morris *et al.* 2002, Cahoon *et al.* 2006, Gilman *et al.* 2008.

**LAS ÁREAS PROTEGIDAS, EN COMBINACIÓN CON MEDIDAS EFECTIVAS DE PROTECCIÓN, SERÁN UN COMPONENTE CLAVE PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD —**

Las observaciones y los modelos están de acuerdo en que las áreas protegidas, si son manejadas adecuadamente, son una de las formas más eficientes de proteger a la biodiversidad terrestre. Los cambios en las especies y biomas debido al cambio climático, pondrán a prueba serios retos para las áreas protegidas, y necesitan de amplias visiones regionales para indicar en dónde se deberán enfocar esfuerzos y cómo funcionarán las redes de áreas protegidas. Además de reforzar la red mundial de áreas protegidas, el manejo de la biodiversidad en paisajes dominados por seres humanos necesita de más atención, en parte por el papel vital que estos sistemas jugarán como corredores de biodiversidad entre áreas protegidas y como refugios de biodiversidad, especialmente a medida que las especies y comunidades migran debido al cambio climático<sup>53 54</sup>.

**HAY OPORTUNIDADES PARA “ASILVESTRAR” LOS PAISAJES EN ALGUNAS REGIONES —**

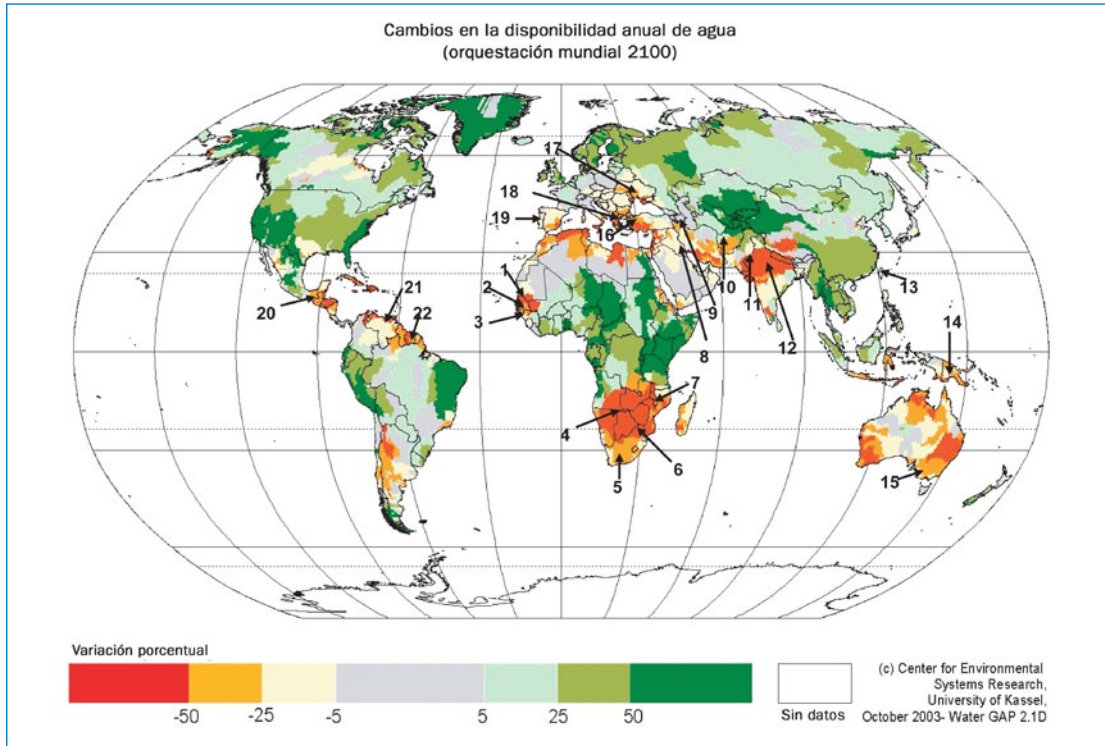
Por ejemplo, el abandono de granjas, liberará unos 20 millones de hectáreas para el 2050 en Europa, bajo escenarios que no incluyen el despliegue de producción de biocombustibles a gran escala<sup>55</sup>. Ciertos proyectos piloto sugieren

que algunas de estas áreas podrían ser usadas para recrear ecosistemas autosustentables que necesiten poca intervención humana. Para crear estos ecosistemas autosustentables, será importante la restauración ecológica, incluyendo el manejo de regímenes de incendios, que apoyen los caminos sucesionales y la reintroducción de grandes herbívoros y carnívoros.

**SISTEMAS DE AGUA DULCE**

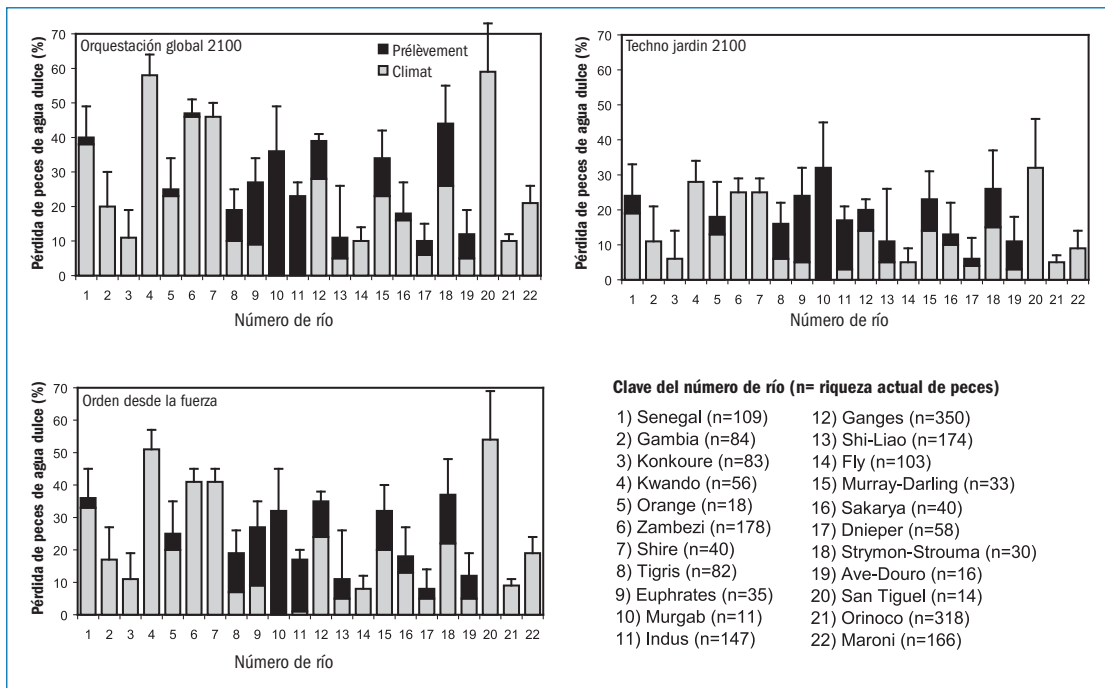
Los escenarios y proyecciones de las tendencias actuales sugieren que la combinación del cambio climático, la extracción de agua, la contaminación, las especies invasoras y la construcción de presas, deteriorará aún más la condición actual de la biodiversidad de agua dulce. La vulnerabilidad particular de las especies de agua dulce a los cambios mundiales, refleja el hecho de que tanto los peces como el agua dulce son recursos que han sido muy manipulados.

Los escenarios para la biodiversidad de agua dulce son limitados en comparación con la biodiversidad terrestre y marina. Los escenarios globales tienden a hablar sobre los recursos hídricos para la gente, pero rara vez incluyen modelos sobre la biodiversidad de agua dulce<sup>56</sup>. Aquellos que lo hacen, modelan un número limitado de factores y carecen o tratan sólo



**FIGURA 12** PROYECCIÓN DE CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA 2100.

Los cambios en la disponibilidad anual de agua para cada cuenca de río, proyecciones para el Escenario Mundial de Orquestación utilizando el modelo de agua GAP. Un cambio negativo (de rojo a amarillo) significa que la región se está secando, mientras que un cambio positivo (verde) significa que la región se está haciendo más húmeda. Los números indican la ubicación de las cuencas ribereñas utilizadas en la figura 13. Fuente: Sala et al. 2005. © Center for Environmental Systems Research. University of Kassel. October 2003-Water GAP 2.1D.



**FIGURA 13** PROYECCIÓN DE EXTINCIÓN DE ESPECIES DE PECES PARA 2100 A PARTIR DE DISMINUCIONES EN EL CAUDAL DE LOS RÍOS DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO Y EXTRACCIÓN DE AGUA.

El porcentaje de extinción de especies más intervalos de confianza de 95% para los escenarios de la EM. Las proyecciones se basan en una relación descarga de especies<sup>111</sup>. Proporción de pérdida de especies asociada con los cambios en el caudal de los ríos debido al cambio climático (gris); proporción de pérdidas de especies asociadas con cambios en la descarga de los ríos debido a la extracción de agua por los humanos (negro). La ubicación de cada río está en la figura 12. Fuente: Sala et al. 2005. De *ecosistemas y bienestar humano: escenarios*, por la evaluación de los ecosistemas del milenio. Copyright © 2005 Millennium Ecosystem Assessment. Reproducido con permiso de Island Press, Washington, D.C.

**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

La eutrofización de agua dulce se refiere a la acumulación de nutrientes en ecosistemas de agua dulce como lagos, embalses y ríos, lo que lleva a crecimiento excesivo de plantas o florecimientos de algas. La putrefacción de las algas muertas en los lagos eutrofizados lleva a que se agoten los niveles de oxígeno en el agua, lo que, en casos severos mata a las plantas enraizadas, invertebrados, peces, etcétera. El principal factor que ocasiona la eutrofización es la contaminación por fósforo que proviene de fertilizantes agrícolas, aguas residuales y detergentes. Después de cierto umbral de acumulación de fósforo, los sistemas de reciclado son activados y pueden mantener al sistema encerrado en un sistema eutrófico, incluso cuando los insumos de fósforo son disminuidos de manera sustancial.

**IMPACTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

A niveles moderados de eutrofización los peses nativos, con frecuencia los peces más deseables que necesitan de altos niveles de O<sub>2</sub> son substituidos por especies menos deseables e invasoras. La eutrofización con frecuencia lleva a florecimientos de cianobacterias tóxicas, lo que ocasiona que el agua no sea apta para beber o recreación. Los insumos de fósforo en sistemas de agua dulce están disminuyendo y las proyecciones indican que continuarán descendiendo en la mayoría de los escenarios socioeconómicos para los países industrializados; por el contrario, las proyecciones indican que, en la mayor parte de Latinoamérica, Asia y África hay grandes aumentos en aguas residuales y por el uso de fertilizantes, lo que llevará a que aumente la eutrofización de lagos para las próximas décadas.

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Moderado — Están muy bien comprendidos los mecanismos que llevan a la eutrofización de los ecosistemas de agua dulce. Sin embargo, el grado en que se puedan revertir de condiciones eutróficas a oligotróficas varía mucho y no está bien estudiado.



antes: iStockphoto.com  
después: Aris Fotografía, Flickr.com

**LA CERTIDUMBRE DE LAS PROYECCIONES**

Moderada — Las nuevas opciones de manejo para la eutrofización, por ejemplo la manipulación de las cadenas alimenticias para controlar los florecimientos de algas, uso de filtros de agua naturales y una mayor conciencia de los impactos negativos de la eutrofización, plantea la posibilidad de que los países en desarrollo usarán en los lagos estas herramientas con el fin de minimizar la eutrofización y sus impactos.

**ACCIONES CLAVE**

La opción de manejo principal, tanto para prevenir y restaurar, es reducir los insumos de fósforo en las aguas residuales, detergentes y agricultura intensiva. Otras opciones son la reforestación de las cuencas con el fin de reducir la erosión y la escorrentía de nutrientes de los suelos, la restauración de los humedales y el desarrollo de incentivos tecnológicos y económicos que cierren el ciclo de nutrientes a nivel local, especialmente en las granjas.

\* El texto original de este punto de inflexión fue preparado por Reinette Biggs (Stockholm University, oonsie.biggs@stockholmresilience.su.se) and Juan Carlos Rocha Gordo (Stockholm University, aguilaik@gmail.com). Literatura adicional: Scheffer et al. 1993, Carpenter 2003, Smith y Schindler 2009.

a factores cualitativos mayores, como la construcción de presas, eutrofización y a las especies invasoras<sup>57</sup>.

La pérdida del hábitat y/o la fragmentación son de las amenazas más graves para la biodiversidad en el mundo, y esto también es cierto para los peces de ríos. Es casi seguro que en el futuro, la perturbación de los ecosistemas de agua dulce, con presas, reservorios y desvíos para irrigación e industria, pondrá en peligro o llevarán a la extinción a muchas especies de peces de agua dulce, porque crean barreras físicas a los movimientos normales y migraciones de la biota y disminuyen la disponibilidad del hábitat<sup>58</sup>.

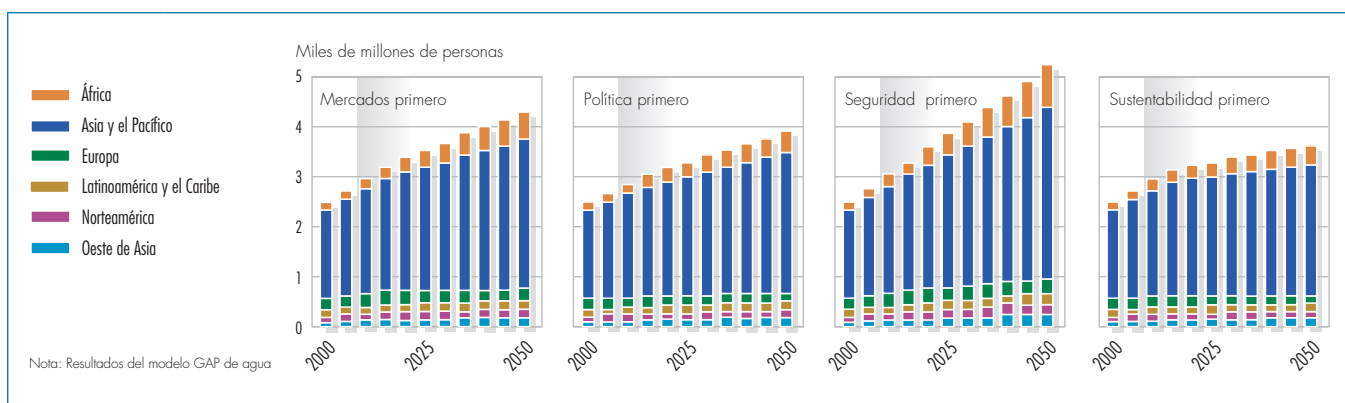
Actualmente es difícil hacer predicciones precisas sobre cómo afectará el cambio climático a la biodiversidad de los peces. Sin embargo la modelación del nicho climático, sugiere que, a nivel local, el número de especies de agua tibia podrían aumentar en áreas templadas, incluso conforme desaparezcan las especies criofílicas (es decir, de agua fría) de una región<sup>59</sup>. Los peces de río que son microendémicos pueden estar amenazados de manera particular por el cambio climático<sup>60</sup>. Los problemas más graves suceden en cuencas que tienen una configuración este-oeste, mientras que en las cuencas con configuración norte-sur, habrá más oportunidades para la migración y la adaptación, siempre y cuando los ríos no estén obstruidos por presas. Los modelos también proyectan que en lagos poco profundos de las

latitudes al norte habrá mortandades de peces de agua fría durante el verano, debido tanto al aumento de las temperaturas del agua como una disminución en el oxígeno disuelto<sup>61</sup>. Otros impactos negativos del cambio climático sobre ecosistemas de aguas dulces son los cambios en el tiempo y volúmenes de flujo de las nieves que se derriten (recuadro 9).

Los escenarios de cambio climático han sido aplicados a relaciones conocidas entre la diversidad de peces y la descarga de los ríos<sup>62</sup>. Los resultados predicen que disminuirá la biodiversidad de los cuerpos de agua dulce en un 15% de los ríos del mundo para 2100 (figuras 12 y 13) debido a una reducción en la escorrentía (ocasionada por el cambio climático) y un aumento en la extracción de agua para el consumo humano. Sin embargo, estas predicciones deben ser consideradas con mucha precaución, ya que el enfoque no proporciona tasas de extinción verdaderas, sino más bien un porcentaje de especies “destinadas a la extinción” cuyo lapso de tiempo no está especificado. Estas predicciones tampoco incluyen otras causas de tensión sobre los peces de agua dulce como lo sería la contaminación y la fragmentación.

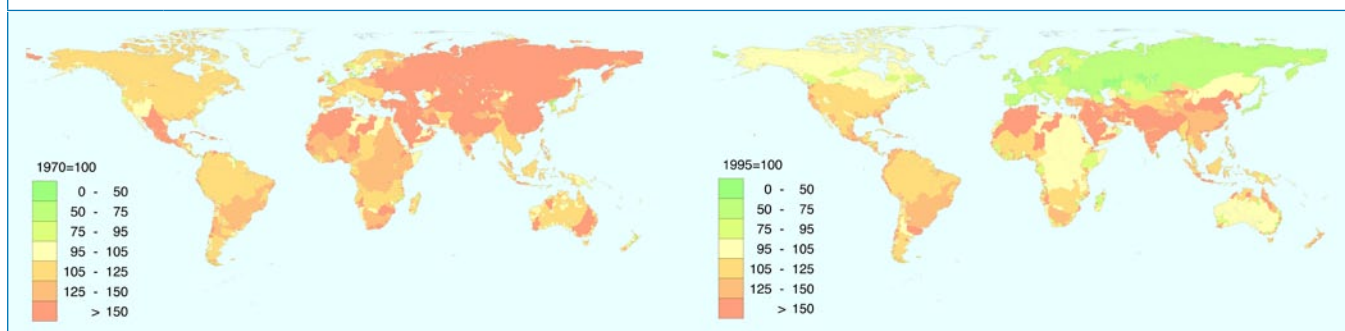
Con base en la relación establecida entre el número de especies de peces no nativas y la actividad humana, esperamos que las cuencas de los ríos de los países en desarrollo albergarán un número cada vez mayor de especies de agua dulce no nativas





**FIGURA 14** PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN QUE VIVE EN CUENCAS DE RÍOS QUE ENFRENTAN SEVERO ESTRÉS HÍDRICO DE 2000 A 2050.

Se ha definido el estrés hídrico severo como una situación en donde la extracción de agua excede 40% de fuentes renovables. Se asume que a mayor nivel de estrés hídrico es más probable que ocurra escasez crónica o aguda. Las proyecciones son de los escenarios GEO4 calculadas usando el modelo waterGAP. Fuente: PNUMA 2007.



**FIGURA 15** CAMBIOS ESTIMADOS EN LA CARGA TOTAL DE NITRÓGENO EN RÍOS DURANTE 1970-1995 Y 1995-2030.

Para cada cuenca de río se han estimado las cargas totales de nitrógeno puntuales (aguas residuales, incluyendo agua de desecho doméstico y de actividades industriales) y fuentes no puntuales (agricultura y deposición atmosférica). Nótese que se proyecta que de 1995 a 2030 disminuirán las cargas de nutrientes de Europa y de la antigua Unión Soviética y que aumentarán en el Norte de África y en el sureste de Asia. Fuente: Bouwman et al. 2005.

como resultado directo del desarrollo económico<sup>63</sup>. Además, los embalses y el cambio climático podrían facilitar la expansión de las especies invasoras y enfermedades asociadas con ecosistemas lacustres<sup>64</sup>.

**Aumentará la presión ejercida sobre los servicios ecosistémicos de agua dulce y la degradación de los humedales, lo que llevará a un deterioro de los servicios de regulación como la regulación de la calidad del agua y la protección contra inundaciones.**

La combinación entre el crecimiento poblacional, el aumento en el consumo de agua y el cambio climático llevará a un aumento en las poblaciones que vivan en cuencas de ríos y que enfrenten graves problemas de estrés hídrico (figura 14). Esto no solamente aumentará los riesgos de falta de abasto de agua crónicos en estas regiones, pero también ocasionará grandes impactos negativos en los ecosistemas de agua dulce<sup>65</sup>.

La eutrofización de los sistemas de agua dulce aumentará en los países en desarrollo, con forme siga aumentando el uso de fertilizantes y los efluentes de aguas residuales sin tratar (figura 15)<sup>66</sup>. Esto podría ser exacerbado aún más en algunas regiones si disminuyen las precipitaciones y el estrés hídrico<sup>67</sup>. La transición a condiciones eutróficas es, en algunos casos, difícil de revertir y puede llevar a la

pérdida de especies de peces, pérdida de valor para recreo y, en algunos casos, riesgos de salud para los humanos y el ganado (recuadro 10).

La pérdida de humedales debido a la extracción de aguas subterráneas, drenaje para usos humanos (recuperación), escorrentía reducida<sup>68</sup> y aumento en el nivel del mar (recuadro 8), reducirá la biodiversidad e impactará de manera negativa los servicios de regulación de los humedales como es el caso de la purificación del agua y la mitigación de las inundaciones.

Hay una incertidumbre en cuanto a las perspectivas de producción pesquera en las aguas continentales, tanto de peces capturados en el medio silvestre como de acuicultura, debido a la degradación prevista de los ecosistemas acuáticos<sup>69</sup>. Esto es importante porque aproximadamente el 10% de los peces capturados del medio silvestre son de aguas continentales y esto, con frecuencia son grandes porciones de la proteína en la dieta de la gente, en particular de la gente pobre de zonas rurales<sup>70</sup>.

**El manejo de los ecosistemas de agua dulce se puede mejorar y hay oportunidades para restaurar los hábitats de agua dulce degradados a ecosistemas funcionales que proporcionan una amplia variedad de servicios para las poblaciones.**

Los escenarios sugieren que hay un gran potencial de minimizar los impactos sobre la calidad del agua que proviene de los drenajes por medio del tratamiento, protección de los humedales y la restauración, y control de la escorrentía de los campos agrícolas, en especial de los países en desarrollo<sup>71</sup>. Existe aún más potencial de mejorarla eficiencia en el uso del agua, particularmente en la agricultura y la industria<sup>72</sup>. Estas acciones minimizarán las ventajas y desventajas que hay entre los servicios de suministro del agua dulce y protegerán los servicios de regulación del agua dulce.

Para manejar los sistemas dulceacuícolas, hay una oportunidad para desarrollar un enfoque que integre a los ecosistemas, lo que favorece la restauración de los ecosistemas de agua dulce con el fin de mejorar los servicios ecosistémicos. De esta forma, abordar el tema incluye el abrir hábitat para peces, reconectar planicies inundables, manejar presas con el fin de imitar los patrones de flujo naturales y restaurar bosques ripícolas y humedales<sup>73</sup>. Para cada cuenca la planeación espacial de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad, es un componente clave del enfoque integral de los ecosistemas para el manejo de los sistemas de agua dulce. Muchos servicios que son producidos río arriba (como la regulación de la escorrentía, producción de madera, secuestro de carbono, etcétera) beneficia a las comunidades río abajo, así que es importante desarrollar una planeación espacial que asegure el flujo de estos servicios ecosistémicos<sup>74</sup>. Los pagos por servicios ambientales también pueden ser instrumentados para recompensar a las comunidades, lo que asegura que los servicios ecosistémicos sean repartidos<sup>75</sup>. Finalmente, la planeación espacial se

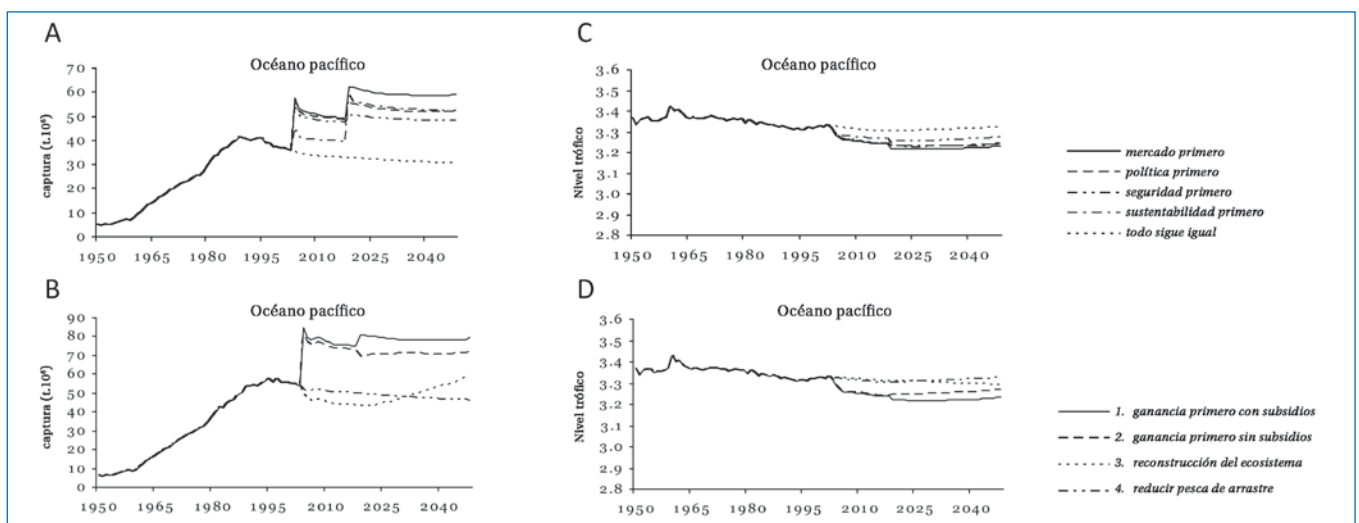
desarrolla mejor cuando considera las relaciones entre los sistemas terrestres, los dulceacuícolas y los marinos a través de los flujos de energía, nutrientes y servicios.

La biodiversidad de agua dulce no está representada adecuadamente en los sistemas de áreas protegidas existentes. Por lo tanto hay una oportunidad de establecer una red de áreas protegidas diseñadas para proteger los procesos esenciales en ríos y humedales<sup>76</sup>. La protección de ríos que todavía no están fragmentados es particularmente importante, para evitar que lo sean más adelante.

El cambio climático aumenta la frecuencia de eventos extremos tales como las inundaciones y las sequías. Por eso la importancia de usar humedales y planicies inundables para atenuar las inundaciones, lo que aumentará la regulación del ciclo hídrico<sup>77</sup>. Otra consecuencia del cambio climático es que en algunas regiones puede producir energía hidroeléctrica de manera menos confiable<sup>78</sup>. Sin embargo, la necesidad de desarrollar energía renovable aumenta la demanda de energía hidroeléctrica. Será importante diseñar, operar y ubicar de la mejor manera presas que permitan los patrones de flujo de manera más natural y que los peces puedan llegar a los sitios de desove, y que sean robustas para que puedan funcionar bajo condiciones climáticas inciertas.

## SISTEMAS MARINOS

Los escenarios muestran que el crecimiento poblacional, el aumento en el ingreso y el aumento en las preferencias por pescado aumentarán el esfuerzo de pesca, lo que llevará a que siga habiendo pérdidas



**FIGURA 16** PROYECCIONES DE BIODIVERSIDAD MARINA PARA EL OCEANO PACIFICO AL 2050.

Las proyecciones para biodiversidad marina en el Océano Pacífico a partir de escenarios desarrollados para la perspectiva del medio ambiente mundial (arriba) y para la evaluación internacional sobre conocimiento agrícola, ciencia y tecnología para el desarrollo (abajo), utilizando el modelo EcoOcean. Total de peces descargados (izquierda), índice trófico marino (derecha) Fuente: Alder et al. 2007.

**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

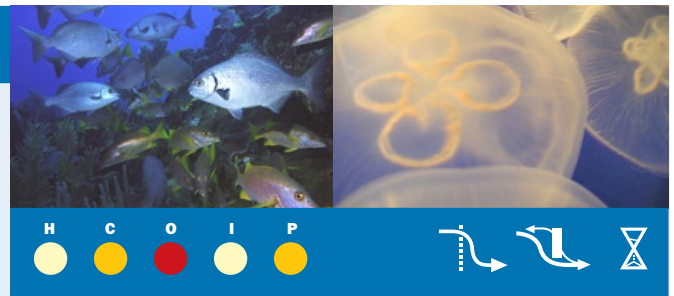
En las pesquerías marinas ocurren dos puntos de inflexión bien documentados que son conducidos principalmente por la sobrepesca y la contaminación. 1) El colapso de las poblaciones de muchos de los peces marinos de importancia económica es el resultado de la sobrepesca, y con frecuencia las retroalimentaciones no permiten que las poblaciones se recuperen, a pesar de que haya fuertes restricciones a la pesca. Las tendencias actuales (véase Christensen (2007)) y los escenarios sugieren que el esfuerzo de pesca aumentará en la mayor parte de los océanos, lo que llevará a un colapso más extendido de las pesquerías. 2) Están sucediendo modificaciones profundas a la estructura de las cadenas alimenticias marinas debido a la sobreexplotación de peces grandes, eutrofización debida a los grandes insumos de nitrógeno y la degradación del hábitat., en especial en las zonas costeras. En un número cada vez mayor de casos, una combinación de estos factores ha dado como resultado la conversión de ecosistemas muy productivos y ricos en especies, a aquellos dominados por especies muy flexibles, como es el caso de medusas y microorganismos. Estas transformaciones tan radicales en las cadenas alimenticias con frecuencia se caracterizan por tener umbrales importantes, por ejemplo el desarrollo de “zonas muertas” anóxicas, y con frecuencia son muy difíciles de regresar a su estado anterior. El calentamiento de los océanos y la acidificación pueden agravar estos efectos.

**IMPACTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

La pesca no sustentable ha empujado a muchas poblaciones de peces grandes a niveles críticamente bajos, por ejemplo casi el 50% de las especies de tiburones y rayas están consideradas como vulnerables o amenazadas con la extinción. Las “zonas muertas” de las costas casi se han duplicado cada década desde 1960, y ahora se han reportado en más de 400 sistemas que afectan un área total de alrededor de 250 000 km<sup>2</sup>. Los impactos sobre la biodiversidad incluyen la pérdida del hábitat, la muerte de especies inmóviles, dependientes del oxígeno y perturbación de los caminos de dispersión de las especies móviles. Las proyecciones para la mayoría de las regiones del mundo prevén una mayor presión por la pesca y los insumos de nitrógeno para los estuarios y océanos, aumentando el espectro de una degradación aún más extensa. Además de los impactos a la biodiversidad, estos puntos de inflexión reducen la pesca de especies importantes, desde el punto de vista nutricional y económico, para una gran proporción de la población mundial.

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Moderado – Hay mucho desacuerdo en el nivel de pesca que puede ser mantenido sin aumentar, de manera significativa, el riesgo de que se colapsen



antes: keeligh, Flickr.com  
después: Vebly Brock, Flickr.com

las poblaciones o que se modifiquen las cadenas alimenticias marinas. Es difícil de determinar las cargas críticas de nitrógeno, debido a las interacciones con el clima y las corrientes de los océanos. No se sabe exactamente cuáles son las retroalimentaciones que previenen que se recuperen las poblaciones de peces, o que se mantengan las poblaciones de medusas.

**LA CERTIDUMBRE DE LAS PROYECCIONES**

Moderada – Las tendencias y los escenarios actuales indican que las presiones sobre las pesquerías marinas continuarán por varias de las siguientes décadas. La imposibilidad de que los modelos predigan el colapso o la no recuperación de las pesquerías las poblaciones del bacalao del Atlántico norte, ilustra claramente los límites de las proyecciones y los peligros de acercarse a los umbrales ecológicos.

**ACCIONES CLAVE**

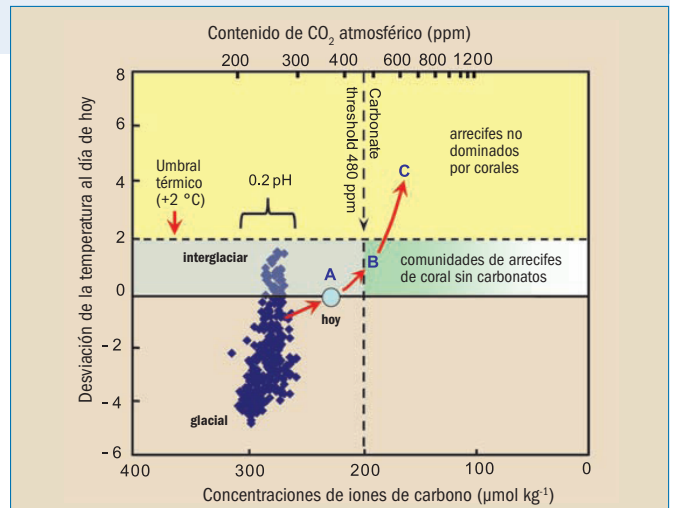
Se necesita con urgencia el desarrollo de tratados internacionales que regulen la pesca, al igual que una rigurosa mitigación del cambio climático. A escala nacional debe ser detenida la pesca ilegal e irregular, los recursos marinos deben ser manejados de la manera apropiada y se deben eliminar los subsidios que promueven la sobrepesca. Las grandes áreas protegidas, si son respetadas, podrían ser un mecanismo efectivo para mantener a la biodiversidad y a los servicios ecosistémicos. Las zonas costeras muertas necesitan ser reducidas por medio de mejorar las prácticas agrícolas con menos uso de fertilizantes. La restauración de humedales río arriba y costeros también ayudará a reducir la carga de nutrientes en las áreas costeras.

\* El texto original de este punto de inflexión fue preparado por U. Rashid Sumaila (University of British Columbia, r.sumaila@fisheries.ubc.ca), William W.L. Cheung (University of East Anglia, william.cheung@uea.ac.uk) y Sylvie Guénette (University of British Columbia, guenette@agrocampus-ouest.fr) y está disponible en el apéndice 9. D. Cooper contribuyó con texto sobre las zonas muertas. Literatura adicional: Cheung et al. 2002, Pauly et al. 2002, Worm et al. 2006, Alder et al. 2007, Richardson et al. 2009.

en la biodiversidad marina. Se necesita una acción inmediata para atacar la sobrepesca con el fin de reducir la pérdida de biodiversidad marina.

La mayoría de los escenarios proyectan que habrá un aumento en la demanda de pescado con forme la población crece y aumenta el promedio del ingreso, lo que permite que aumente la proporción de pescado en la dieta, en especial en los países en desarrollo. Como respuesta a la creciente demanda, los escenarios predicen que habrá un aumento en el esfuerzo de pesca y un aumento en la producción por acuicultura.<sup>79</sup>

La mayoría de los escenarios que usaron el modelo EcoOcean (que es un modelo desarrollado por la Universidad de Columbia Británica, que se basa en un balance de la masa) predice un aumento en el desembarco de peces a costa de la disminución de la biodiversidad marina (figura 16).<sup>80</sup> El índice trófico marino mide el nivel trófico medio de peces desembarcados y es un indicador de la biodiversidad marina. Para muchas regiones marinas, los



**FIGURA 17** TEMPERATURA, CONCENTRACIONES DE CO<sub>2</sub> ATMOSFÉRICO Y DE IONES DE CARBONATO PARA LOS ÚLTIMOS 420,000 AÑOS Y POSIBLES ESCENARIOS FUTUROS PARA LOS ARRECIFES DE CORAL.

Se indican los umbrales para grandes cambios en las comunidades de coral debido a estrés térmico (+2° C) y concentraciones de iones de carbonato ([carbonato] = 200 μmol kg<sup>-1</sup>, [CO<sub>2</sub>]<sub>atm</sub> = 480 ppm). Estos umbrales se basan en el rango relativamente angosto de condiciones bajo el cuales han estado los arrecifes de coral durante los últimos 420 000 años (puntos azules). Fuente: Hoegh-Guldberg et al. 2007.

**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

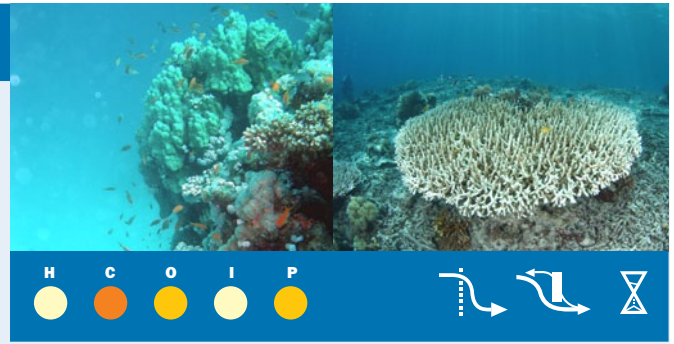
Los científicos cada vez están más preocupados de que los arrecifes de coral tropicales, durante las próximas décadas, podrían cruzar dos umbrales importantes. 1) Temperaturas de la superficie del océano más altas de lo normal podrían ocasionar blanqueamiento y muerte de corales. El blanqueamiento y degradación de las comunidades de corales se hace severa cuando las temperaturas suben más de unos 2° C por arriba de las temperaturas actuales. 2) La acidificación de los océanos ocasionada por el aumento en las concentraciones de CO<sub>2</sub> reduce la capacidad de los corales duros de formar esqueletos a base de carbonato. Cuando se alcancen 450 ppm de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, los modelos sobre la química de los océanos proyectan que el agua de mar será demasiado ácida para el crecimiento de los arrecifes de coral de muchas regiones y cuando se llegue a las 550 ppm será demasiado ácida para casi todos los arrecifes de coral.

**IMPACTOS**

El blanqueamiento y una reducción en la calcificación pueden afectar a los corales de diversas maneras: puede llevar a reducir la construcción de arrecifes, podría afectar a la calidad de los esqueletos del coral y podría reducir su éxito reproductivo. En comunidades coralinas degradadas, con frecuencia los corales pierden su dominancia con respecto a las algas. La degradación de los corales duros lleva a una reducción más amplia de la biodiversidad, ya que una comunidad de peces e invertebrados excepcionalmente diversa y productiva depende de los corales para obtener refugio y alimento. Los impactos negativos sobre los servicios ecosistémicos incluyen la disminución de pesquerías importantes localmente, reducción en la protección de las costas en contra de tormentas repentinas y pérdida de ganancias por el turismo.

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Alto a moderado – Hay un acuerdo generalizado sobre los impactos negativos del calentamiento de los océanos y la acidificación sobre los corales duros que se basan en experimentos, observaciones y modelos. Sin embargo, no se entiende bien la capacidad de las comunidades de coral para adaptarse a las temperaturas que van en aumento y a



fotos: Matt Kieffer, Flickr.com después: iStockphoto.com

la acidificación del océano y, a pesar de que es de esperarse que las comunidades cambien, potencialmente se pueden adaptar y, por lo tanto, resistir al calentamiento y recolonizar hábitats dañados.

**LA CERTIDUMBRE DE LAS PROYECCIONES**

Alta – En las últimas dos décadas, varios episodios de altas temperaturas en las superficies del mar han dañado de manera severa a los arrecifes de coral de muchas regiones. De acuerdo con los modelos disponibles, incluso en los mejores escenarios de mitigación del cambio climático, habrá un daño extenso en los arrecifes de coral tropicales.

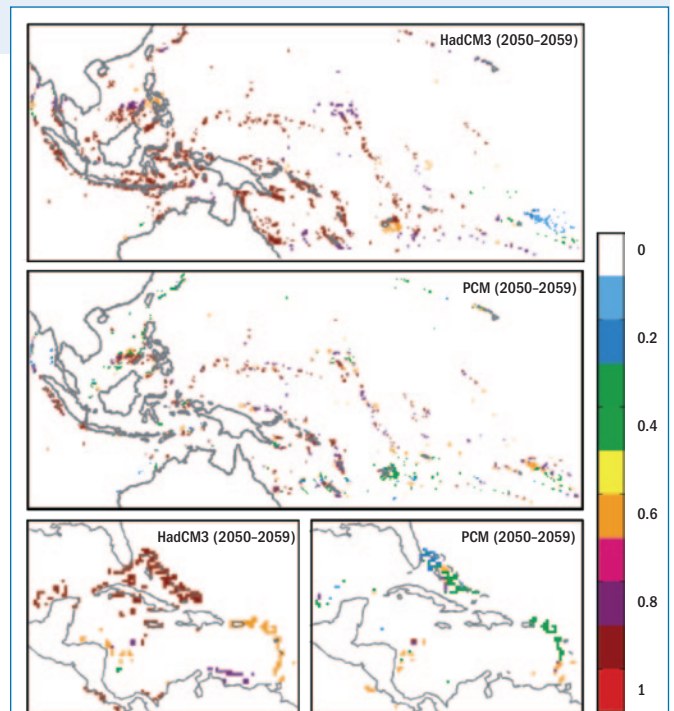
**ACCIONES CLAVE**

Se reduce la vulnerabilidad de los corales a la acidificación de los océanos y al calentamiento del clima si se reduce la influencia de los factores de estrés locales, en especial la pesca destructiva, la contaminación costera o la sobreexplotación de herbívoros como los erizos de mar y peces herbívoros. Como tal, las áreas protegidas marinas parecen ser una herramienta importante para reducir la vulnerabilidad. El punto de inflexión de los arrecifes de coral es un argumento poderoso a favor de metas estrictas de mitigación del cambio climático (<450 ppm de CO<sub>2</sub> atmosférico y < 2° C de calentamiento).

\* El texto original de este punto de inflexión fue preparado por Joana Figueiredo (University of Lisbon, jcfigueiredo@fc.ul.pt ) y está disponible en el apéndice 10. Literatura adicional: Bellwood et al. 2004, Hughes et al. 2005, Hoegh-Guldberg et al. 2007, Donner 2009.

escenarios proyectan que continuará el descenso en el índice del nivel trófico y en la desaparición de peces de gran tamaño corporal, demersales y pelágicos. Este proceso se conoce como “pesca hacia abajo de la cadena trófica”. El aumento en los desembarcos de peces, se logra porque se capturan peces que actualmente no se explotan comercialmente, como especies de peces de los grupos de segundo nivel e invertebrados.<sup>81</sup> El aumento proyectado en los desembarcos de peces también puede ser un resultado de estimaciones incorrectas del esfuerzo de pesca y las dinámicas poblacionales de los peces pelágicos y deben ser interpretados con cautela. En realidad, probablemente no es posible aumentar al mismo tiempo la captura y manejo de la sustentabilidad de las pesquerías. Por lo tanto, el aumento en las tendencias de las capturas del 2000 hacia adelante no debe ser interpretado como una posible estrategia de manejo.

Un resultado de la “pesca hacia abajo de la cadena trófica” es la desaparición de los depredadores marinos de la cima de la cadena trófica, lo que ocasionaría grandes cambios en los ecosistemas (recuadro 11). Además, la sobreexplotación puede ocasionar riesgos de extinciones significativos de peces marinos<sup>82</sup>. Por ejemplo, la sobrepesca contribuye al enlistado de 20 especies de meros y de 11



**FIGURA 18** PROYECCIONES DE LA FRECUENCIA DE BLANQUEAMIENTO DE CORAL PARA EL CARIBE Y EL INDO-PACÍFICO EN 2050-2059.

L a probabilidad de que la acumulación anual de calentamiento por mes sea > 1° C de 2050-2059 para cada celda de una cuadrícula de 36 km que contiene arrecifes de coral en el Indo-Pacífico (arriba) y en el Caribe (abajo), bajo SRES A2 para dos modelos climáticos HadCM3 y PCM. Fuente: Donner et al. (2005).

tiburones pelágicos y especies de rayas como amenazadas con la extinción (críticamente en peligro, en peligro o vulnerable)<sup>83</sup>.

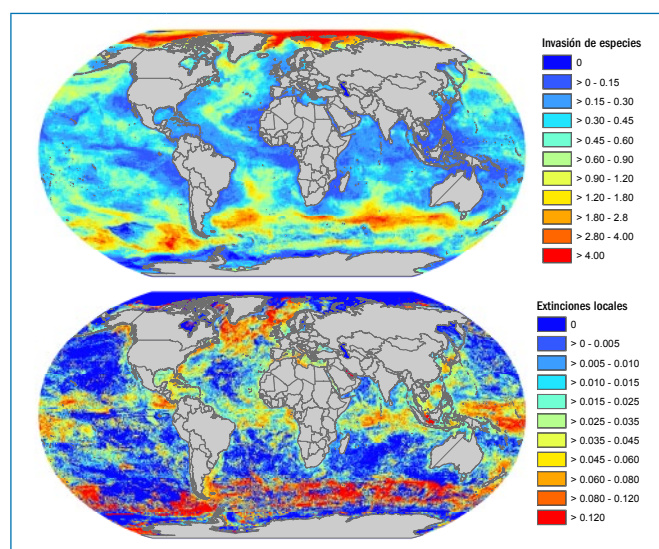
Una proyección que se basa en un modelo de regresión de las tendencias de las capturas durante los últimos 50 años de una amplia variedad de pesquerías, sugiere que hay un gran riesgo de colapsos regionales de las pesquerías en la primera mitad de este siglo<sup>84</sup>. Otro estudio ha sugerido que los niveles de captura en las pesquerías de arrecifes de islas se triplicarán del nivel máximo de la producción sustentable para 2050, lo que aumentará el riesgo de que se colapsen esas pesquerías<sup>85</sup>. Tales colapsos regionales tendrán consecuencias dramáticas para el bienestar humano, incluyendo el desempleo y pérdidas económicas en las regiones afectadas. Por ejemplo, después de que se colapsaron las pesquerías de Terranova, unos 18 000 pescadores perdieron sus trabajos y unos 30 000 puestos de trabajo en la industria de procesamiento de pescado fueron amenazados de desaparecer.<sup>86</sup> Si las tendencias actuales en las pesquerías y el cambio climático continúan, algunos modelos proyectan que las poblaciones de peces se redistribuirán alejándose de los países tropicales<sup>87</sup>, precisamente en donde la seguridad alimentaria es un tema crítico.

La lucha contra la sobrepesca necesita una combinación de varias estrategias<sup>88</sup>: la mejora en el manejo de las actividades relacionadas con la pesca, incluyendo detener la pesca ilegal, no reportada y no regulada; la creación de reservas marinas efectivas y áreas de no pesca<sup>89</sup>, disminuir las capturas; restricciones y modificaciones en el equipo; establecer derechos de acceso para los pescadores<sup>90</sup>, restauración de los ecosistemas<sup>91</sup>; y acuicultura eficiente en el uso de los recursos de bajo impacto. Los escenarios sugieren que si el manejo de las pesquerías se enfoca en reconstruir a los ecosistemas, en lugar de maximizar las ganancias económicas y si es reducida la pesca de arrastre béntica y otras prácticas destructivas de pesca, las existencias se podrán recuperar y se podrá detener la disminución en la biodiversidad marina<sup>92</sup>. La acuicultura podrá ayudar parcialmente a cubrir el aumento en la demanda por pescados y mariscos, pero tiene sus propias limitaciones ambientales y de productividad, tales como el uso de harina de pescado para criar a las especies piscívoras, los mayores riesgos de contagiar enfermedades a las especies silvestres y la contaminación local<sup>93</sup>.

**El cambio climático aumentará la acidificación del océano y la temperatura de la superficie del mar, lo que seguramente ocasionará grandes pérdidas en los arrecifes de coral y cambios en la distribución y abundancias relativas de los organismos marinos.**

El calentamiento de la superficie del mar y la acidificación de los océanos, causará que los corales queden fuera de las condiciones que han experimentado en el último medio millón de años (figura 17) y puede llevar a una degradación extendida de los arrecifes de coral. El blanqueamiento de los corales resulta de la ruptura de la endosimbiosis entre los corales y zooxantelas<sup>94</sup> y ocurre cuando se presenta un mes continuo de temperaturas de la superficie del mar 1° C por arriba de su promedio histórico<sup>95</sup>. Las predicciones dicen que estas condiciones serán muy comunes para la mitad del siglo en la mayoría de las regiones con arrecifes, lo que llevará a eventos anuales o bianuales de blanqueamiento (figura 18). La acidificación de los océanos reduce la disponibilidad de carbonato para la calcificación, lo que disminuye el crecimiento de los corales. La degradación de los corales es un punto de inflexión y ocasionará grandes cambios en los ecosistemas (recuadro 12)<sup>96</sup>. La acidificación de los océanos también puede tener impactos negativos en otros organismos calcificantes de ese hábitat<sup>97</sup>, y puede haber grandes cambios en la distribución y abundancia del fitoplancton (recuadro 13).

Las especies marinas podrían responder al calentamiento de los océanos cambiando sus áreas de distribución de manera latitudinal o por profundidad<sup>98</sup>. Tal respuesta de las especies podría llevar a extinciones locales e invasiones, lo que afectaría los patrones de diversidad de especies, en especial en los trópicos, en las regiones polares y en los mares semi-encerrados (figura 19). Estos cambios podrían



**FIGURA 19** PROYECCIÓN DE CAMBIOS EN LA DIVERSIDAD MARINA DEBIDOS AL CAMBIO CLIMÁTICO.

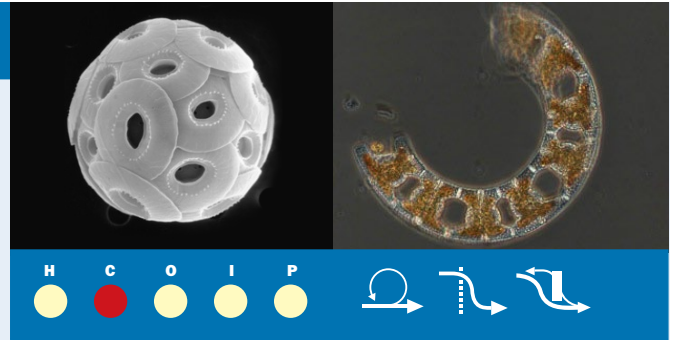
El impacto sobre la biodiversidad en 2050 bajo el escenario del IPCC SRES A1B que se expresa en términos de: número de nuevas especies que se mueven de otras regiones (arriba) y la intensidad de extinciones locales (abajo). Las proyecciones se basan en los modelos bioclimáticos para 1 066 especies de peces e invertebrados. Fuente: re-dibujado a partir de Cheung et al. 2009.

**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

El calentamiento global y el aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> alterarán a la biodiversidad y funcionamiento de los océanos a través de dos puntos de inflexión del fitoplancton. 1) Los modelos climáticos predicen que la superficie de los océanos se caliente 2-6° C durante el próximo siglo. Esto se proyecta que mejore la estratificación del océano en las latitudes bajas lo que reducirá el suministro de nutrientes para los niveles más profundos, y que disminuya la profundidad de la capa de mezcla en las latitudes más elevadas, lo que aumentará la disponibilidad de luz. Las dos razones anteriores tendrán grandes efectos en la productividad y diversidad del fitoplancton. 2) Las concentraciones de CO<sub>2</sub> que van en aumento ya han reducido el pH ("acidificación del océano") del océano. Las proyecciones indican que la continua acidificación del océano alterará la productividad y abundancia del fitoplancton que forma esqueletos a base de carbonatos. Estos dos procesos se proyecta que llevarán a retroalimentaciones que contribuyen al calentamiento global debido a la importancia del fitoplancton en conducir el secuestro de carbono oceánico. No se proyecta que estos cambios sean abruptos, pero los impactos serán de escala planetaria y son irreversibles en el curso del siglo que viene debido a los largos retrasos en la respuesta del sistema terrestre.

**IMPACTOS SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

Las distribuciones del fitoplancton ya están cambiando en dirección al polo como respuesta al calentamiento del océano y se proyecta que estos cambios se aceleren a lo largo de este siglo. Algunos grupos funcionales pueden ser favorecidos por la acidificación de los mares, como lo son las diatomeas que forman esqueletos a base de silicatos, mientras que otros serán reducidos, especialmente aquellos que forman esqueletos a base de carbonatos, como los de los cocolitofóridos, aunque hay mucha incertidumbre de esta respuesta. El fitoplancton marino juega un papel central en los ciclos biogeoquímicos en la regulación del clima, por ejemplo el fitoplancton muerto que se hunde al fondo del océano secuestra carbono. Los cambios en la productividad del fitoplancton pueden tener un impacto de abajo hacia arriba sobre las cadenas tróficas marinas, lo que afecta a la biodiversidad marina y a las pesquerías. Los modelos oceanográficos biogeoquímicos predicen que habrá una disminución global en la productividad primaria por hasta un 20% en el siguiente siglo en relación con la era preindustrial. Surgirán impactos



antes: Marie-Joséphine Chiriac  
— Dinet, CNRS Photothèque  
después: Laënnic Armand,  
CNRS Photothèque, KEOPS

antropogénicos adicionales sobre el fitoplancton marino por la sobrepesca, la contaminación y las especies invasoras, en especial en regiones costeras muy pobladas.

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Bajo — Entre las grandes incógnitas está la respuesta fisiológica del fitoplancton de base de carbonato a la acidificación del océano, el papel de la competencia y las interacciones tróficas para controlar la dinámica de las comunidades de fitoplancton, y los mecanismos de las interacciones entre los factores del cambio global.

**LA CERTIDUMBRE DE LAS PROYECCIONES**

Baja — Los modelos, las observaciones y los experimentos están en acuerdo cualitativo que el calentamiento de los océanos y la acidificación muy probablemente tendrán grandes impactos sobre el fitoplancton y el secuestro del carbono por los océanos.

**ACCIONES CLAVE**

Se necesitan programas de monitoreo a largo plazo, con el fin de entender mejor los efectos del cambio ambiental sobre el fitoplancton de los océanos y la propagación de sus impactos desde las cadenas alimenticias hasta las pesquerías. A pesar de las grandes incertidumbres, se deben considerar fuertes medidas de mitigación ante el cambio climático dado que los impactos negativos sobre la biodiversidad, la productividad o el secuestro de carbono habrían de tener implicaciones a escala planetaria. Actualmente no se considera factible tomar medidas de adaptación.

\* El texto original de este punto de inflexión fue preparado por Laurent Bopp (Institute Pierre Simon Laplace, Laurent.Bopp@cea.fr) y Corinne Le Quéré (University of East Anglia/ British Antarctic Survey). Literatura adicional: Bopp *et al.* 2001, Hays *et al.* 2005, Rost *et al.* 2008, Alvain *et al.* 2008, Riebesell *et al.* 2009.

ocasionar nuevos arreglos en las cadenas alimenticias. Un buen ejemplo de esta dinámica es el Ártico que en unas dos o tres décadas podría dejar de tener hielo durante el verano en su mayor parte. Esto ocasionará que disminuyan las especies asociadas con el hielo y que algunas probablemente se extingan y que sean reemplazadas por especies del subártico (recuadro 14). Los cambios en la abundancia de las especies de plancton se pueden propagar a niveles mayores en la cadena alimenticia e, incluso, a ecosistemas terrestres, dado que muchas aves y mamíferos ligan la dinámica de los dos sistemas<sup>99</sup>. La pérdida rápida de los niveles de hielos marinos deja aún menos tiempo para tomar acciones para corregirla en forma de abordar el cambio climático global o para que la biota y los humanos se adapten a las nuevas condiciones del Ártico.

Con base en monitoreos limitados, experimentos y resultados de modelos de cambio climático, el aumento relativo del nivel del mar podría ser la mayor amenaza para los humedales que son afectados por las mareas y las playas (recuadro 8). La

reducción del área de ecosistemas costeros y de su salud, aumentará los riesgos para los asentamientos humanos, disminuirá la calidad del agua costera, se liberarán grandes cantidades de carbono almacenado y se eliminará hábitat para anidar, cría y forrajeo de muchos grupos de especies, incluyendo peces, moluscos, aves marinas y acuáticas, tortugas marinas, cocodrilos, manatíes y dugongos. El aumento del nivel de los océanos muy probablemente tendrá el mayor impacto en los humedales costeros, que experimentarán un descenso relativo neto en la elevación del sedimento, y donde el área está limitada hacia tierra para migrar debido al escenario fisiográfico o por los obstáculos del desarrollo.

El cambio climático necesita ser limitado con el fin de proteger a la biodiversidad marina, y mientras que cualquier aumento significativo en la temperatura promedio mundial podría tener impactos negativos en la biodiversidad marina, valores por arriba de los 2° C es muy probable que tengan consecuencias dramáticas<sup>100</sup>. También se deben tomar medidas de adaptación para aumentar la capacidad

**MECANISMOS DE LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN**

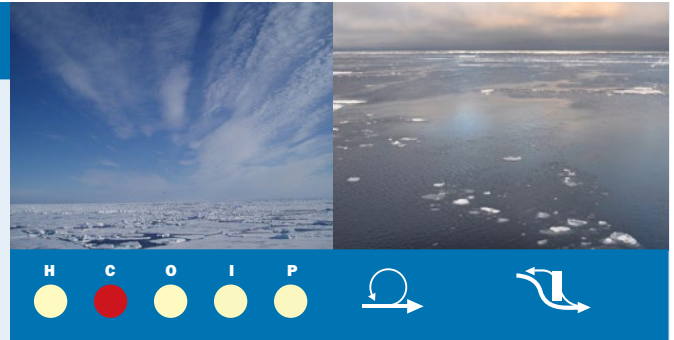
Durante el verano, la extensión del hielo marino del ártico está disminuyendo rápidamente, de hecho más rápido de lo que proyectaron los modelos recientes y alcanzaron un record de niveles bajos en septiembre de 2007. El hielo marino se está haciendo más delgado y buena parte del hielo de varios años se ha perdido, lo que ha puesto las condiciones para que haya una reducción todavía más rápida en extensión y elevado la posibilidad de que, en unas pocas décadas, haya veranos en el ártico sin hielo. Debido a que el agua en mar abierto refleja mucha menos radiación solar que el hielo del mar, la pérdida del hielo marino acelera el calentamiento regional y global.

**IMPACTOS**

El ambiente marino del ártico se está convirtiendo en un ambiente subártico, con las consecuentes amenazas a las especies del ártico pero con oportunidades para las del subártico. Las especies que dependen del hielo están perdiendo hábitat rápidamente, lo que está creando faltas de coincidencia claves en el tiempo de los eventos estacionales como lo es la disponibilidad de alimento y reproducción, o en relaciones espaciales como son áreas de alimentación y descanso para los mamíferos marinos. Los servicios ecosistémicos disminuirán en los lugares en los que el hielo es una plataforma y un proveedor de especies asociadas al hielo. Puede que aumente el desarrollo en donde el hielo hoy es una barrera para la actividad humana, talvez incluyendo el suministro de servicios como las pesquerías, pero también puede llevar a un aumento en los conflictos entre los usuarios y los usuarios potenciales.

**NIVEL DE ENTENDIMIENTO DE LOS MECANISMOS**

Alto — Mientras que los modelos fallaron en la predicción de las tasas recientes de pérdida de la cobertura de hielo, se entienden bien, de



antes y después: Patrick Kelley, U.S. Coast Guard, Flickr.com

manera general, los factores y mecanismos de retroalimentación. Se pueden proyectar las respuestas de la biodiversidad con cierta certidumbre con base en las tendencias actuales y el conocimiento de las restricciones ambientales de los organismos del ártico y subártico.

**LA CERTIDUMBRE DE LAS PROYECCIONES**

Alta — Este punto de inflexión ya está sucediendo y todos los modelos están de acuerdo que seguirá disminuyendo sustancialmente la cobertura de hielo durante el siglo que viene. Las mayores incertidumbres son los cambios en las tasas de cobertura del hielo, así como la velocidad y dirección de los cambios en las comunidades bióticas.

**ACCIONES CLAVE**

Es urgente la mitigación agresiva del cambio climático. Se deben definir claros regímenes regulatorios internacionales con el fin de controlar los futuros impactos y factores de estrés adicionales, como son las pesquerías y la contaminación.

\* El texto original de este punto de inflexión fue preparado por Henry P. Huntington (hph@alaska.net) y está disponible en el apéndice 8. Literatura adicional: Holland et al. 2006, Winton 2006, Greene et al. 2008, Moore y Huntington 2008.

de recuperación de los ecosistemas marinos y costeros del cambio climático. En el caso de los arrecifes de coral, es necesario abordar el problema de la sobrepesca, una mejor planificación del desarrollo costero y disminuir las fuentes de contaminación<sup>101</sup>. También es esencial mejorar la planificación del terreno con el fin de que se permita la migración tierra adentro de los hábitats costeros como respuesta al aumento en el nivel del mar, que deberá de ser complementado con la restauración de los hábitats costeros y un mejor manejo de la captación con el fin de minimizar la perturbación de los procesos de sedimentación. Finalmente, es necesario crear acuerdos internacionales para contar con regulaciones estrictas de las actividades humanas en las aguas del ártico con el fin de evitar factores de estrés adicionales que afecten a las especies y a los ecosistemas (recuadro 14).

Los escenarios sugieren que hay una amplia variedad de futuros para la contaminación costera, dependiendo de la evolución de la tierra agrícola, el uso de fertilizantes y el tratamiento de las aguas residuales. Algunos escenarios proyectan que habrá un aumento en el comercio global junto con un mayor riesgo de expansión de las especies invasoras.

Un aumento en las cargas de nutrientes y contaminación de las aguas costeras, asociados con el cambio climático, estimulará la eutrofización y el aumento en el número y extensión de las zonas muertas (recuadro 11). Las zonas muertas son áreas que no

tienen oxígeno y donde no pueden sobrevivir los peces. Tienen impactos negativos en la acuicultura, las pesquerías y en la recreación<sup>102</sup>. En los escenarios en los que hay una menor expansión de la tierra agrícola, menor uso de fertilizantes, más tratamiento de aguas residuales, mejor manejo de los ecosistemas de aguas dulces (en particular por la restauración de los humedales), se detiene la tendencia actual de que aumenten las zonas muertas.<sup>103</sup>

Varios escenarios predicen una mayor globalización<sup>104</sup>, incluyendo más transporte de bienes en travesías transoceánicas. Los barcos usan agua de lastre para mantener el balance y en esa agua hay organismos marinos como el plancton y pequeños invertebrados. Cuando el agua de lastre es tomada de una región y descargada en otra, se lleva a cabo un intercambio biótico y hay potencial de que se establezcan especies invasoras.<sup>105</sup> Las medidas para controlar este problema requieren de la colaboración internacional. Estas medidas ya se están llevando a cabo e incluyen al convenio de la organización marítima internacional (IMO por sus siglas en inglés) y estrategias dirigidas a: reducir al mínimo el ingreso de organismos durante la carga de lastre, al igual que la acumulación de sedimentos en los tanques de lastre (que podrían contener organismos) y tratando el agua de lastre para eliminar a los organismos. Un problema similar que necesita que se le preste atención es la limpieza de los cascos sucios, es decir el transporte de los organismos que se adhieren al casco de un barco.



### 3. EL FUTURO DE LOS MODELOS Y ESCENARIOS DE LA BIODIVERSIDAD

#### **LOS MODELOS DEL FUTURO DE LA BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS CONTRIBUYEN A NUESTRO CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y PUEDEN INFORMAR PARA ESTABLECER POLÍTICAS.**

— Los modelos cuantitativos no deben ser vistos como instrumentos para predecir el estado de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos en el futuro. Las grandes incertidumbres en las trayectorias futuras de impulsores directos e indirectos de la biodiversidad y servicios ecosistémicos, excluyen la posibilidad de que se puedan hacer predicciones para varias décadas. Sin embargo, en la última década ha habido un progreso enorme en los modelos para entender a la biodiversidad y su relación con los servicios ecosistémicos y la comunidad científica ahora está lista para usar modelos y herramientas que le ayuden a: entender los mecanismos que han llevado a los patrones actuales de biodiversidad, entender los procesos que están bajo la respuesta de la biodiversidad al cambio climático, sintetizar una amplia variedad de fuentes de información contrastantes, proporcionar una idea de la efectividad de las estrategias de mitigación y adaptación, etcétera. En particular, los modelos cuantitativos, cuando son usados sabiamente, son excepcionalmente buenos para abordar las preguntas de “y si” a las que con frecuencia se enfrentan los tomadores de decisiones. Estas preguntas pueden ser exploradas examinando el impacto de una variedad de escenarios socioeconómicos sobre la biodiversidad. Por ejemplo, recientemente los modelos han jugado un papel crucial en demostrar que los planes de despliegue a gran escala de los biocombustibles son erróneos, tanto para el ambiente como para la biodiversidad.

#### **LOS MODELOS DEBEN INCLUIR LAS INTERACCIONES Y RETROALIMENTACIONES QUE LIGUEN A LA BIODIVERSIDAD, EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS, LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y PROCESOS SOCIOECONÓMICOS.**

— A pesar de que es limitada nuestra comprensión sobre las conexiones directas e indirectas que hay entre la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, los modelos que incluyen los aspectos que mejor se entienden pueden ser incorporados en los estudios de los escenarios, por ejemplo el secuestro de carbono, los ciclos hidrológicos, la regulación de nutrientes, la polinización, la producción de alimento y fibra, etcétera. Sin embargo, los modelos que hacen un buen trabajo en la simulación de

estos servicios ecosistémicos con frecuencia tienen una representación pobre de la biodiversidad o lo contrario. La conexión entre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos con el bienestar humano puede ser modelada, por ejemplo utilizando una valoración económica o vínculos con la salud humana y la iniciativa TEEB (la economía de los ecosistemas y la biodiversidad), ha avanzado mucho hacia evaluar los servicios ecosistémicos que se basan en modelos (por ejemplo, la gente río abajo se beneficia de los servicios ecosistémicos río arriba). En consecuencia, hay necesidad de desarrollar modelos que puedan poner en mapas los flujos espaciales y temporales de los servicios ecosistémicos. Una tarea de enormes proporciones sería incluir una gama más amplia de servicios ecosistémicos, especialmente los servicios culturales que son muy diferentes de los otros servicios y que necesitarían que se desarrollara un nuevo marco conceptual.

#### **LOS MODELOS NECESITAN INCORPORAR LOS DIVERSOS FACTORES QUE AFECTAN A LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y QUE INTEGREN DIFERENTES INTERACCIONES ENTRE REINOS.**

— Los factores importantes que actualmente faltan o que son tratados parcialmente en los modelos actuales incluyen: las especies invasoras o la sobreexplotación en los sistemas terrestres, la construcción de presas, la contaminación y las especies invasoras en los sistemas de agua dulce; y la degradación del hábitat y contaminación en los sistemas marinos y costeros. Los retos para incorporar estos factores en los modelos utilizados en los escenarios de los modelos sobre biodiversidad incluyen la carencia de relaciones generales y escalables entre aquellos factores y el cambio en la biodiversidad. Se necesita más investigación básica para entender estas relaciones, haciendo uso de indicadores estándar de cambios en la biodiversidad, como los que adoptó el CDB para las metas de 2010. Deben ser integrados los modelos para los biomas terrestres, de agua dulce y marinos, de tal manera que puedan ser consideradas las interacciones y retroalimentaciones entre estos ecosistemas<sup>106</sup>.

#### **IDEALMENTE LOS MODELOS DE BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEBEN INCORPORAR LA DINÁMICA Y DEBEN ESTAR FUNDAMENTADOS EN LOS PROCESOS, EN**



**LUGAR DE LOS MODELOS ACTUALES DISPONIBLES QUE SON ESTÁTICOS Y DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES.** —

Los modelos que se basan en los procesos incorporan procesos evolutivos, ecológicos y físicos y, por lo tanto proporcionan simulaciones cuantitativas de la dinámica de las múltiples dimensiones de la biodiversidad (genes, especies y ecosistemas). Los modelos pueden ayudar a descubrir y describir “puntos de inflexión” importantes, por medio de incorporar retroalimentaciones, y procesos clave como las redes tróficas o la dispersión. Esto requeriría del desarrollo de una nueva generación de modelos que cubran una variedad más amplia de procesos que los modelos que ya existen actualmente. Tales modelos también podrían proporcionar mejores estimaciones de la dinámica de los cambios en la biodiversidad como sería el tiempo para llegar a extinguirse, la velocidad a la que es probable que sean creados ecosistemas novedosos (por ejemplo debido al cambio climático), etcétera.

**LOS MODELOS DE BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEBEN SER EVALUADOS UTILIZANDO UN CONJUNTO DE INDICADORES ESTÁNDAR CON EL FIN DE EVALUAR LA VALIDEZ O LIMITACIONES DE LAS PROYECCIONES** —

Los modelos pueden ser evaluados de distintas maneras, buenos ejemplos de los cuales son las evaluaciones de modelos realizados por la comunidad que está modelando el clima mundial. La comparación sistemática entre modelos, sus resultados y los análisis de sensibilidad son maneras poderosas de estimar la incertidumbre en las proyecciones de los modelos pero rara vez son llevados a cabo por la comunidad que hace los modelos de la biodiversidad. Además, la comparación entre modelos puede ayudar a identificar y corregir errores, como lo han demostrado las comparaciones entre los modelos climáticos hechos por el IPCC<sup>107</sup>. Es parte esencial de la evaluación del modelo, probar la capacidad de los modelos para simular condiciones pasadas y presentes contra las de biodiversidad y servicios ecosistémicos observados en el pasado. Los modelos de cambios en la biodiversidad muy rara vez han tenido como puntos de referencia datos experimentales u observaciones. Para mejorar esta situación se necesitará modelos que produzcan datos de variables estandarizadas que puedan ser comparadas contra conjuntos de datos de biodiversidad y servicios ecosistémicos acordados previamente, como los indicadores de biodiversidad que adoptó el CDB. El desarrollo de una red mundial de observación de la biodiversidad (GEO-BON, por sus siglas en inglés)<sup>108</sup> abre una oportunidad para armonizar datos de biodiversidad para ser utilizados en modelos que se están desarrollando y que están probando escenarios.

**LOS ESCENARIOS PUEDEN INFORMAR PARA LA DEFINICIÓN DE LAS METAS POSTERIORES A 2010, TANTO GLOBAL COMO REGIONALMENTE** —

Recientemente ha empezado la discusión sobre las metas posteriores a 2010 (por ejemplo PNUMA-WCMC 2009). Es posible comparar las tendencias recientes en algunos indicadores del CDB con el resultado de modelos (figura 7 y figura 16). Como tales, los modelos podrían ayudar a fijar metas que son informadas por las tendencias actuales y para evaluar la factibilidad de llegar a las metas por medio de comparar varios escenarios socioeconómicos. Se podrían definir diferentes metas de líneas de tiempo para diferentes indicadores, para que los indicadores que tienen dinámicas de tiempo más lentas reciban metas de mayor plazo (es decir 2030), como el índice de la lista roja, y que los indicadores que tienen dinámicas más rápidas cumplan sus objetivos a menor plazo (2015) como para la extensión de las áreas forestales. Dada la heterogeneidad de los patrones de pérdida de biodiversidad en el mundo (figura 3), se podrían definir objetivos regionales o nacionales en el contexto de posibles escenarios. Por ejemplo, en áreas donde hay fuertes tendencias a la disminución de la biodiversidad los objetivos podrían ser más permisivos, mientras que en áreas donde las presiones son reducidas los objetivos podrían ser más rigurosos y, en algunos casos, a través de la restauración de los ecosistemas, las metas podrían involucrar la mejora de las condiciones de la biodiversidad en relación con una referencia original.

**IPBES, UN MECANISMO EQUIVALENTE AL IPCC PARA LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS, PODRÍA PROPORCIONAR EL ESTÍMULO PARA QUE HAYA UN MAYOR ESFUERZO NECESARIO PARA EVALUAR Y MEJORAR LOS MODELOS.** —

El trabajo esbozado anteriormente para evaluar y mejorar los modelos necesitará de un esfuerzo conjunto, sin precedentes, de parte de las comunidades que trabajan modelos sobre aspectos socioeconómicos, del clima, ecosistemas y biodiversidad. EL IPCC ha demostrado claramente que un cuerpo internacional de evaluación, reconocido por el gobierno, es un mecanismo poderoso para movilizar a la comunidad científica. El tiempo es el adecuado para un mecanismo similar para estimar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, porque ha habido enormes avances en el modelado y creación de bases de datos regionales y mundiales. Como tales, se alcanzarán mejoras dramáticas en las proyecciones de alcance, calidad y relevancia política de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para el siglo XXI, en los próximos años. El IPBES, una plataforma intergubernamental científica-política sobre biodiversidad y servicios ecosistémicos, podría ser la llave para abrir este potencial.



## NOTAS FINALES

- 1 EM - Evaluación de los ecosistemas del milenio 2005.
- 2 Sala *et al.* 2005.
- 3 Modelos que se basan en el nicho (NBM, por sus siglas en inglés) - Los NBM se basan en relaciones estadísticas entre las distribuciones espaciales de especies de plantas y animales y factores ambientales clave que controlan su distribución, como sería la temperatura, la precipitación, etcétera. El modelo obtenido es el “nicho” ambiental de una especie, que cuando es combinado con proyecciones de los cambios en factores ambientales, puede ser usado para simular las distribuciones en el futuro. Este es un enfoque poderoso para hacer proyecciones sobre los impactos del cambio climático a nivel de especie porque puede ser utilizado para cualquier especie para la que haya mapas de su distribución y sus factores ambientales correspondientes. Las limitaciones de los NBM generalmente incluyen la carencia de migración de especies, interacciones interespecíficas, factores ambientales clave que controlan la distribución (por ejemplo para plantas el aumento en las concentraciones de CO<sub>2</sub>) y mecanismos de adaptación. Con frecuencia se refieren a NBM los modelos “bioclimáticos” o “sobres climáticos” cuando solamente se usan variables climáticas para predecir las áreas de distribución de las especies. Véase a Thuiller *et al.* (2008) para ver una visión general de los modelos que se basan en el nicho.
- 4 Relaciones dosis-respuesta - Se pueden usar datos de observación y experimentos para generar relaciones empíricas entre la intensidad del factor del cambio climático (es decir la dosis) y la pérdida de especies, cambios en la abundancia de la especie, etcétera (es decir la respuesta). El desarrollo de relaciones dosis-respuesta requiere de esfuerzos significativos para sintetizar estudios de observación y experimentales. La ventaja de estos modelos es que están anclados de manera sólida en respuestas de la biodiversidad medidas a los factores del cambio global. Un inconveniente clave de este enfoque es que es difícil contar las interacciones entre los factores del cambio global que es probable ocurran en el futuro. Véase a EA (2005) y Alkemade *et al.* (2009) para ver las discusiones sobre el desarrollo y limitaciones de este enfoque.
- 5 Relaciones especies-área - La relación entre el área de distribución o del hábitat y la riqueza de especies es una de las correlaciones mejor estudiadas en ecología. En casi todos los sistemas, el número de especies observadas aumenta de manera asintótica con el aumento el área de distribución geográfica o del hábitat. Con base en esta relación, la pérdida del área del hábitat se ha interpretado para insinuar la pérdida de especies. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el uso de relación especies área para predecir la extinción de las especies se ha probado poco a escalas espaciales grandes al igual que es desconocido el lapso de tiempo entre la pérdida del hábitat y la consecuente pérdida de las especies. Sala *et al.* (2005) y van Vuuren *et al.* (2006) proporcionan una visión general exhaustiva del uso de las curvas de especies-área para hacer proyecciones de la pérdida de especies a escala global.
- 6 Los modelos empíricos que usan los estados de conservación de UICN - La UICN ha desarrollado criterios para evaluar el riesgo de extinción de las especies para su lista roja del estado de conservación de especies de animales y plantas. Uno de los componentes clave de estos criterios es el cambio de la distribución geográfica de una especie. Por lo tanto, los modelos que simulan los cambios en los tamaños de las áreas de distribución de las especies, por ejemplo los modelos de nicho, pueden ser combinadas con las clasificaciones de UICN para determinar la fracción de especies que están en riesgo de extinguirse en el futuro (Thomas *et al.* 2004, Thuiller *et al.* 2005). Sin embargo, el estado de conservación de UICN no fue diseñado para ser usado así, así que las proyecciones de las extinciones de especies que se basan en este método tienen un alto grado de incertidumbre (Akçakaya *et al.* 2006).
- 7 Los modelos de vegetación globales (GVM o DGVM por sus siglas en inglés) - Los GVM usan descripciones matemáticas de la fotosíntesis de plantas, respiración, etcétera, en conjunto con descripciones del funcionamiento de los suelos con el fin de simular la dinámica de la vegetación y los ciclos biogeoquímicos (por ejemplo almacenamiento de carbono y flujos, uso del agua por las plantas, escorrentía, etcétera). Estos modelos son usados ampliamente para investigar los impactos del cambio global en los ciclos biogeoquímicos regionales y globales. El uso de biomas o un número muy similar de tipos funcionales de plantas (con frecuencia 10 o más para todo el planeta) y la ausencia de animales, actualmente prohíbe su uso para modelar de manera directa las distribuciones de las especies o la riqueza de

- especies. Sin embargo, los GVM han sido usados en combinación con las relaciones especies-área o dosis-respuesta, con el fin de estimar la pérdida de especies a escalas regionales o globales. El modelo IMAGE descrito en Alcamo *et al.* (2005b), contiene un GVM que simula las distribuciones de los biomas. El GVM más reciente simula la distribución de tipos funcionales de plantas (por ejemplo Sitch *et al.* 2008).
- 8 En las evaluaciones sobre biodiversidad, las extinciones de especies con frecuencia también se refieren como “pérdida de especies”. En esta síntesis usamos los dos términos de manera intercambiable para referirnos a la extinción global de las especies (opuesto a las extinciones locales).
  - 9 La abundancia de especies se usa para referirse al tamaño poblacional de una especie. También usamos el término Abundancia Media de Especies, que tiene un significado ligeramente diferente y se refiere a la diferencia de los tamaños promedio de las poblaciones entre los ecosistemas relativamente prístinos y donde los sistemas de estos ecosistemas prístinos han sido transformados por las actividades humanas.
  - 10 La pérdida del hábitat es un término relativamente amplio que usamos para describir una gran transformación de ecosistemas relativamente prístinos por las actividades humanas y, generalmente se equipara con una transformación del tipo de vegetación, cobertura del suelo o uso de la tierra; por ejemplo, la transformación de un bosque relativamente intacto a un campo de cultivo constituye pérdida de hábitat como lo definen en la mayoría de las evaluaciones sobre diversidad previas. Técnicamente este es un uso incorrecto de la palabra “hábitat” porque la pérdida de un hábitat para un grupo de especies siempre es ganancia de hábitat para otro grupo.
  - 11 Con frecuencia los grupos funcionales similares de una especie son referidos como “grupos funcionales”. Esto se refiere a los grupos de especies que responden de manera similar a las señales ambientales o a las perturbaciones, o que tienen efectos similares sobre el funcionamiento del ecosistema; por ejemplo, los “árboles deciduos de clima templado” es un grupo funcional que comúnmente se usa en los modelos globales de vegetación.
  - 12 Para los ecosistemas terrestres, con frecuencia bioma es equiparado con un tipo dominante de vegetación; por ejemplo el bioma de la “sabana” puede encontrarse en varios continentes, pero típicamente se define como un pastizal con cobertura de árboles esparcida. Usamos los términos “tipo de vegetación” y “bioma” de manera intercambiable. Las definiciones de bioma casi siempre son diferentes según el estudio: Cuando sea posible, nosotros hemos intentado usar la definición de bioma en EM (2005).
  - 13 Las proyecciones de las extinciones de especies terrestres a escala mundial, se han enfocado en los impactos del clima y/o en el cambio en el uso del suelo. Todas estas proyecciones dependen de un complejo proceso de varios pasos que incluye 1) los escenarios del desarrollo socioeconómico mundial que incluye las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), cambio en el uso del suelo (es decir cambio en el “hábitat”, etcétera. 2) los modelos climáticos que traducen las emisiones de GEI en proyecciones de cambio climático, 3) modelos de los cambios en las áreas de distribución de las especies o tipos de vegetación (es decir “hábitats”) como respuesta al cambio climático y 4) modelos que escalan de cambios en el hábitat o tamaño de las áreas de distribución a extinciones de especies a nivel mundial. No hemos incluido las proyecciones de Sala *et al.* (2005) de la figura 2 porque son muy similares a los de van Vuuren *et al.* (2006) en metodología y resultados, ni las proyecciones de biodiversidad mundial de Sala *et al.* (2005) porque estimaron el impacto de los factores del cambio global sobre la biodiversidad utilizando un índice cualitativo de “cambio en la biodiversidad” que no puede ser comparado con otros estudios.
  - 14 Véase la discusión en van Vuuren *et al.* (2006).
  - 15 Sala *et al.* 2005.
  - 16 Las relaciones especies-área asumen que la pérdida del hábitat llevan a un gran riesgo de extinciones a largo plazo; sin embargo, la pérdida de área de hábitat y las contracciones de los tamaños de las áreas de distribución de las especies con frecuencia no han sido buenos predictores de las extinciones de especies en los registros paleontológicos e históricos recientes (Ibanez *et al.* 2006, Botkin *et al.* 2007, Willis y Bhagwat 2009). Por ejemplo, las grandes contracciones del tamaño del área de distribución o las modificaciones en el hábitat de muchas especies durante las glaciaciones del Cuaternario han, al que parece, dado como resultado pocas extinciones de especies de plantas (Botkin *et al.* 2007, Willis y Bhagwat 2009) y muchas solamente explican las extinciones masivas de los grandes invertebrados (Koch y Barnosky 2006): muchas especies parece que escaparon a la extinción refugiándose en áreas pequeñas de ambientes favorables, o en ambientes que difieren de manera sustancial de donde actualmente se encuentran (Botkin *et al.* 2007, Willis *et al.* 2007, Willis y Bhagwat 2009). Más recientemente, la deforestación a gran escala en el este de los Estados Unidos - 50% del área forestal había sido talada para la mitad del siglo XIX - debería haber causado tasas de extinción muy grandes con base en las consideraciones del área del hábitat, pero las extinciones de plantas observadas fueron mucho más bajas y las extinciones de aves considerablemente más grandes, que lo que se hubiera predicho con base en las relaciones especies-área (Ibáñez *et al.* 2006). Las observaciones muestran que los grupos de algunas especies son capaces de sobrevivir a largo plazo en forma de poblaciones pequeñas o se pueden adaptar de manera exitosa a hábitats de los que no son nativos (Prugh *et al.* 2008, Willis y Bhagwat 2009), lo que podría explicar por qué las proyecciones de extinciones de especies que se basan en la pérdida del hábitat no son coherentes con las grandes diferencias observadas, a través de grupos de especies, en cuanto a vulnerabilidad de extinguirse (Stork *et al.* 2009).
  - 17 Sala *et al.* 2005.
  - 18 Es tentador explicar las bajas probabilidades de extinción en Jetz *et al.* (2007), comparada con otras proyecciones globales, porque se hacen

- proyecciones de las extinciones sólo cuando las especies pierden su hábitat actual completo. Sin embargo, cuando se usan criterios similares a los de Thomas *et al.* (2004, por ejemplo, asumiendo una probabilidad de 15-75% de extinción de aves con >50% de pérdida del hábitat con base en los criterios de UICN). La pérdida de especies que se proyecta debido sólo al cambio climático en Jetz *et al.* (2007), todavía es significativamente más baja que los cálculos en Thomas *et al.* (2004). Otra diferencia entre los dos trabajos es que Jetz *et al.* (2007) usaron un modelo de cambios en el bioma como la base para calcular el área de distribución futura, mientras que Thomas *et al.* usaron modelos de nicho que se basan en el clima. También nótese que incluso las proyecciones de Jetz *et al.* (2007) pueden ser demasiado pesimistas porque suponen que las aves son estacionarias y que no se pueden mover como respuesta al uso del suelo o al cambio climático.
- 19 Pounds *et al.* 2006.
  - 20 Hemos resumido las respuestas de dos estudios que han examinado los impactos futuros que tendrá el cambio global sobre la abundancia de las especies, el PNUMA (2007) y ten Brink *et al.* (2007). En ambos estudios se hicieron simulaciones sobre los cambios en la abundancia promedio de especies (APE) utilizando el modelo GLOBIO (Alkemade *et al.* 2009), que es un modelo que se basa en IMAGE (Bouwman *et al.* 2006) que simula el impacto de múltiples presiones sobre la biodiversidad utilizando datos empíricos de estudios publicados para establecer la relación entre la magnitud de las presiones y la magnitud de los impactos, es decir los modelos “dosis-respuesta” (Rothman *et al.* 2007). El escenario de inicio fue el de “todo sigue igual”, lo que significa uno que no estaba influido por ningún escenario político específico, aparte de los que ahora se estaban instrumentando. Es dirigido por un desarrollo socioeconómico moderado. El escenario de inicio predice que una disminución en la APE de 70% en 2000 a 63% en 2050 (100% corresponde al capital natural total de 1700 antes de nuestra era). Para ver el uso de este enfoque véase a Biggs *et al.* (2008) a escalas regionales.
  - 21 Hay dos diferencias importantes en la metodología entre la abundancia promedio de especies que se usa en la figura 5<sup>a</sup> y el LPI usado en la figura 5B. Primero, el Índice del Planeta Vivo (LPI por sus siglas en inglés) se basa en tendencias poblacionales a largo plazo para una pequeña variedad de especies, mientras que APE usa comparaciones de una amplia variedad de poblaciones de especies entre hábitats de referencia perturbados y sin perturbar. Segundo, el LPI usa los promedios geométricos de las tendencias de abundancia de las especies a través de reinos con el fin de calcular las tendencias promedio terrestres (WWF 2008), al contrario del modelo GLOBIO que usa promedios aritméticos para calcular la abundancia promedio de especies en todas las escalas (APE, Alkemade *et al.* 2009). Ambos enfoques pueden ser justificados fácilmente.
  - 22 El éxito de esta opción depende en gran medida de la habilidad de imponer de manera adecuada el estado de las áreas protegidas y de integrar el manejo de las áreas protegidas y no protegidas (Brooks *et al.* 2009).
  - 23 La relación entre el alivio a la pobreza y la conservación de la biodiversidad se está discutiendo acaloradamente. Históricamente, las mejoras en el bienestar humano han sido acompañadas por la conversión de los sistemas naturales a sistemas con menor diversidad, dominados por los humanos (MA 2005). Hay algunas vías de desarrollo que permiten que haya aumentos sustanciales en el bienestar humano y que con todo hacen un trabajo mucho mejor para preservar la biodiversidad que lo que es actualmente el caso en muchas regiones (Chan *et al.* 2007).
  - 24 Kok *et al.* (2008) proporcionan una síntesis muy perspicaz de evaluaciones globales previas.
  - 25 van Vuuren *et al.* 2006, IPCC 2007.
  - 26 Nielsen *et al.* 2007, Froyd y Willis 2008.
  - 27 Nielsen *et al.* 2007.
  - 28 Kok *et al.* 2008.
  - 29 van Vuuren *et al.* 2006, Kok *et al.* 2008.
  - 30 Stehfest *et al.* (2009) proporcionan un análisis detallado de los efectos de la dieta con base en niveles “saludables” de consumo de carne y claramente ilustran los grandes impactos que los altos niveles de consumo de carne tienen en el mundo. Véase también Kok *et al.* (2008) y Alkemade *et al.* (2009).
  - 31 IPCC (2007) proporciona un resumen excelente de estas proyecciones del modelo.
  - 32 Véase una revisión exhaustiva por Perry *et al.* (2005). También véase a Fischlin *et al.* (2007).
  - 33 Véase a Reynolds *et al.* (2007) para una revisión minuciosa de los procesos de desertificación y degradación del suelo en regiones áridas y semiáridas. Véase a Pejchar y Mooney (2009) para una revisión sobre especies invasoras y sus impactos en una amplia variedad de ecosistemas.
  - 34 Overpeck y Weiss 2009.
  - 35 Bond *et al.* (2005) proporciona un análisis global de los impactos de los incendios en los ecosistemas terrestres utilizando el DGVM de Sheffield.
  - 36 Pero véase a Thuiller *et al.* (2005).
  - 37 Walker *et al.* 2009.
  - 38 La EM (2005) proporciona una discusión exhaustiva de las relaciones entre la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y el bienestar humano.
  - 39 TEEB 2009 - La economía de los ecosistemas y la biodiversidad para quienes hacen las políticas nacionales e internacionales - Resumen: respondiendo al valor de la naturaleza 2009. También véase el sitio de internet de TEEB en [www.teebweb.org](http://www.teebweb.org)
  - 40 Wise *et al.* (2009) han publicado los únicos escenarios globales en los cuales las tierras dedicadas a cultivos y a bosques manejados de manera intensiva, disminuyen a lo largo del siglo que viene. Véase la discusión de la figura 2.7 para más detalles.
  - 41 EM 2005, Carpenter *et al.* 2009.
  - 42 Chan *et al.* 2006, Nelson *et al.* 2009.
  - 43 Balmford *et al.* 2009.

- 44 Pero véase a Lindemann-Mathies *et al.* (2010) quien mostró que la apreciación estética está relacionada de manera positiva con la biodiversidad en Suiza.
- 45 Naidoo *et al.* 2008.
- 46 Hay buena evidencia experimental y teórica de que la pérdida de las especies puede degradar algunas funciones del ecosistema; sin embargo estos efectos son más pronunciados a bajos niveles de riqueza de especies y, con frecuencia, las reducciones en riqueza de especies son menos importantes que los cambios en especies clave o en grupos de especies que dominan el funcionamiento de un ecosistema (Loreau *et al.* 2001, Gaston 2010). Además, la mayoría de los estudios de la relación entre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas en ecosistemas terrestres se han enfocado en la pérdida de especies en pastizales (Balvanera *et al.* 2006). Aunque algunos estudios se han enfocado en otros ecosistemas, como son los bosques (Oelmann *et al.* 2010). La mayoría de los estudios muestran que una reducción en la riqueza de especies tiene efectos negativos en algunas medidas de los servicios ecosistémicos (Balvanera *et al.* 2006), pero ya que muchos de estos estudios se basan en pérdidas de especies al azar y han sido hechos a escalas espaciales muy pequeñas, es extremadamente difícil de extrapolar hacia los cambios de biodiversidad proyectados a escalas espaciales mayores (Hillebrand y Matthiessen 2009).
- 47 Kremen *et al.* 2007, Aizen *et al.* 2008, Aizen *et al.* 2009, Gallai *et al.* 2009. Con base en texto preparado por P. Balvanera.
- 48 Para ver ejemplos del uso de los GVM para modelar funciones de los ecosistemas y sus servicios: flujo de los ríos (Ishidaira *et al.* 2008), precipitación regional (Betts *et al.* 2008), regímenes de incendios (Bond *et al.* 2005, Bar Massada *et al.* 2009), almacenamiento de carbono en ecosistemas (Schaphoff *et al.* 2006, Sitch *et al.* 2008), clima global (Gullison *et al.* 2007, Davin y de Noblet-Ducoudre 2010).
- 49 TEEB 2009. Véase [www.teebweb.org](http://www.teebweb.org)
- 50 Paterson *et al.* 2008.
- 51 Véanse las revisiones de Gullison *et al.* (2007) y Howarth y Bringezu (2008)
- 52 Grainger *et al.* 2009.
- 53 Heller y Zavaleta 2009.
- 54 Véase Ranganathan *et al.* (2008) para buenos ejemplos sobre la importancia de mejorar el manejo de la biodiversidad en paisajes dominados por seres humanos.
- 55 Los cálculos se basan en los escenarios de la EM obtenidos de IMAGE, utilizando el área total de cultivos alimenticios, pasto y área de forraje, y área de cultivo de biocombustibles para 2050, en relación con 2000.
- 56 Por ejemplo, los escenarios en GEO4 (PNUMA 2007) y GEO3 (PNUMA 2002) analizan las perspectivas las poblaciones que enfrentan severo estrés hídrico y para el volumen de aguas residuales doméstica y municipal sin tratar, pero solamente considerando la biodiversidad terrestre.
- De manera similar, los escenarios de Crossroads of Planet Earth's Life (ten Brink *et al.* 2006) solamente observaron la biodiversidad terrestre.
- 57 Se ha revisado la importancia de estos factores en Finlayson y D'Cruz (2005).
- 58 Nilsson *et al.* (2005) hacen una visión general de los impactos de las presas sobre los sistemas rivereños. Encontraron que más de la mitad de los grandes sistemas de ríos son afectados por presas. La presión para reducir las emisiones utilizando hidroeléctricas está ocasionando la construcción de miles de presas nuevas, algunas de ellas en sistemas de ríos que todavía no han sido fragmentados por presas.
- 59 La revisión de los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad de agua dulce se puede encontrar en Poff *et al.* (2002), Fischlin *et al.* (2007), Heino *et al.* (2009).
- 60 Es de esperarse que el cambio climático obligue a las distribuciones de especies hacia mayores latitudes, lo que llevará a potenciales extinciones de especies cuyo futuro espacio climático habitable se hace demasiado pequeño o demasiado aislado de sus áreas de distribución actuales. Debido a la naturaleza insular de los ríos para los peces de agua dulce (Oberdorff *et al.* 1999), las especies endémicas pueden estar en mayor riesgo de extinción ya que no se pueden adaptar a nuevas condiciones climáticas y no pueden cambiar sus áreas de distribución geográfica. Como los taxa endémicos no se pueden reemplazar con organismos de otro lado y con frecuencia, son parte de las prioridades de conservación a nivel mundial, su extinción tendrá un alcance global y se traducirá en una pérdida neta de biodiversidad a nivel mundial. La protección de cuencas de ríos en donde viven especies endémicas, pueden ser insuficientes para evitar la extinción. Por lo tanto una posible opción de mitigación puede consistir en reubicar a estas especies a cuencas de ríos alternativas. Sin embargo, las reubicaciones de especies también representan serios riesgos para la conservación, ya que pueden ocasionar cambios inesperados y no deseados en el funcionamiento de los ecosistemas (Richardson *et al.* 2009). Con base en texto preparado por T. Oberdorff.
- 61 Fang *et al.* (2004a,b,c) observaron 2xCO<sub>2</sub> escenarios de temperatura del agua y oxígeno disuelto en lagos de Norteamérica y encontraron que el número de lagos adecuados como hábitat para peces de agua dulce disminuirá en 30% y la mayoría de los lagos con aguas someras experimentarán, durante los veranos, la muerte de peces de agua fría debido a las altas temperaturas del agua. Jankowski *et al.* (2006) hacen un análisis de los impactos de la ola de calor europea de 2003 sobre el oxígeno hipolimnetico y sus implicaciones para los efectos del cambio climático.
- 62 Sala *et al.* (2005) desarrollaron escenarios globales usando una curva de especies-descarga, la cual predice la diversidad de especies de peces en función de una descarga anual promedio. Este modelo de regresión fue construido con datos de 237 ríos de todo el mundo. Usando el modelo *waterGAP*, estimaron la descarga actual y a futuro para los escenarios de la evaluación de los ecosistemas del milenio, considerando por separado los

efectos de extraer agua y el cambio climático. Los escenarios predicen grandes cambios en la disponibilidad del agua en cuencas de ríos en todo el mundo, con un aumento en la disponibilidad en el norte de Europa y Norteamérica y una reducción en la disponibilidad en la región mediterránea, Australia, sur de África e India (figura 12). Por lo tanto, Sala *et al.* predicen que habrá grandes disminuciones en la biodiversidad de agua dulce de los ríos de las últimas regiones, en un caso hasta del 65% (figura 13). Esto no será compensado en el corto plazo por un aumento en la disponibilidad del agua en otras partes del mundo, ya que la extinción ocurre en tiempo ecológico mientras que la especiación sucede en tiempo evolutivo. En estos escenarios la principal causa del cambio en la disponibilidad del agua y, por último la causa de las extinciones de especies, es el cambio climático y, en un papel menor, la extracción de agua (figura 13). Por lo tanto el escenario en el que la biodiversidad es lo menos afectada, es el escenario en donde el cambio climático es minimizado (Technogarden). Los mismos autores hicieron un ejercicio de modelado similar para dos escenarios de IPCC-SRES y encontraron que 15% de los ríos perderán más del 20% de las especies de peces (Xenopoulos *et al.* 2005). Hay incertidumbres significativas y limitaciones que se relacionan con los escenarios de Sala *et al.* (2005) y Xenopoulos *et al.* (2005). Todavía hay evidencia empírica limitada para las extinciones asociadas con una disminución en la descarga de los ríos. El modelo de especies-descarga se basa en una instantánea de la distribución de la diversidad de peces a través de muchas cuencas de ríos, y la pendiente de la relación podría ser diferente si se realiza un análisis de las consecuencias de la descarga de los ríos sobre la diversidad de peces con el tiempo, dentro de una cuenca de río. Finalmente, hay limitaciones importantes asociadas con las estimaciones y las proyecciones del modelo *waterGAP*.

- 63 Leprieur *et al.* (2008) estudiaron la variación espacial en la riqueza de especies no nativas a nivel global. Encontraron que los indicadores de la presión del propágulo y la perturbación del hábitat (es decir el producto interno bruto, la densidad poblacional y el porcentaje de área urbana) representaron la mayor parte de la variación global en la riqueza de especies de peces no nativos. Con base en estos resultados, predijeron que las cuencas de los ríos de países en desarrollo albergarán un número cada vez mayor de especies de peces no nativos como resultado directo del desarrollo económico.
- 64 La construcción de presas facilita las invasiones biológicas de cuerpos de agua incautados y de los lagos naturales cercanos (Johnson *et al.* 2008). El cambio climático puede facilitar las invasiones de especies exóticas de sistemas previamente limitados por la temperatura mínima del agua (Schmitz *et al.* 2003).
- 65 Los escenarios más recientes de la EM (Alcama *et al.* 2005) y GEO4 (PNUMA 2007) predicen que habrá cada vez más extracción de agua, como consecuencia del crecimiento poblacional, la demanda agrícola y la industrial. A nivel global, se espera que el aumento en la precipitación aumente la disponibilidad de agua pero no tan rápida como las extracciones. Además, en algunas regiones áridas la precipitación disminuirá. La población total que estará bajo un estrés hídrico severo aumentará (figura 14).
- 66 Bouwman *et al.* (2005) hicieron proyecciones para calcular las cargas de nutrientes a los ríos para 2030, con base en proyecciones de producción de alimentos y efluentes de aguas residuales.
- 67 Sala *et al.* (2005) desarrollaron escenarios cualitativos para la eutrofización y acidificación de ecosistemas de agua dulce y discuten sus implicaciones para la biodiversidad. Utilizaron flujos de retorno del *waterGAP* (es decir flujos que son regresados por el uso del agua de los humanos) como representante para la eutrofización. Para la acidificación utilizaron un índice de deposición de SOx aéreo de IMAGE. Encontraron que casi todas las áreas con grandes incrementos en los flujos de retorno también son áreas con una disminución de la descarga (ocasionados por cambios en la precipitación y el uso del agua). Algunas de estas áreas (por ejemplo el oriente medio) también experimentan un aumento en la deposición de ácido. El escenario en donde se están tomando medidas pro-activas a nivel global (Technogarden) fue el escenario con la perspectiva más brillante para la biodiversidad.
- 68 Alcama *et al.* (2005a) discuten los impactos sobre los humedales y sus servicios ocasionados por la recuperación de la tierra y por cambios en la escorrentía de los ríos que induce el cambio climático y la extracción de agua.
- 69 Gopal (2005) describe cómo ha sido desarrollada la acuicultura intensiva en algunos lugares de Asia para compensar la disminución en la captura de peces por la contaminación o desecación de los ríos. Sin embargo, la acuicultura también degrada la calidad del agua y reduce la biodiversidad y, en algunos casos, ha ocurrido eutrofización a tal grado que las granjas de acuicultura ya no son viables. Lake y Bond (2007) desarrollaron escenarios narrativos para el futuro de los ecosistemas de agua dulce de Australia. En uno de los escenarios, en donde el crecimiento económico es prioritario, la agricultura se extiende aumentando el uso del agua, lo que lleva a un incremento en la salinidad, restricción de las migraciones de peces debido a la construcción de presas para usar como irrigación y un aumento en las cargas de nutrientes y otros contaminantes. Como consecuencia hay pérdidas significativas para la biodiversidad.
- 70 Aproximadamente el 10% de los peces son capturados del medio silvestre de las aguas continentales (Wood *et al.* 2005) y la producción por acuicultura tierra adentro aumenta aún más el significado de los ecosistemas de agua dulce como grandes fuentes de proteína para la población mundial (Finlayson y D’Cruz 2005).
- 71 Alcama *et al.* (2005).
- 72 Se ha demostrado que minimizar el uso del agua es un tema clave tanto en los escenarios de la EM (Alcama *et al.* 2005) y del GEO 4 (UNEP 2007).
- 73 Véase a Palmer *et al.* (2008).
- 74 Heal *et al.* (2001) propusieron el concepto de Distritos de Servicios Ecosistémicos con el fin de

- desarrollar un sistema de planificación espacial con base en los servicios ecosistémicos.
- 75 Los pagos por servicios ecosistémicos de los ecosistemas de agua dulce se discuten en Bohlen *et al.* (2009) y Leclerc (2005).
- 76 Abell *et al.* (2008) discuten la carencia de una gran escala para enfocar los esfuerzos de planeación para los sistemas de agua dulce y propone un enfoque a nivel de la ecoregión para el desarrollo de estrategias de conservación.
- 77 Guenni *et al.* (2005) revisan el papel de los humedales para reducir las inundaciones. El papel de los humedales para purificar el agua es revisado por Finlayson y D’Cruz (2005).
- 78 Véase a Fischlin *et al.* (2007).
- 79 Alder *et al.* (2007) desarrollan escenarios de políticas de pesca para los cuatro escenarios de la perspectiva del medio ambiente mundial (GEO4) hasta para 2050, los cuales predicen un aumento en el esfuerzo de pesca debido al crecimiento de la población mundial y al consumo de peces. Alder *et al.* (2007) también exploraron los cuatro escenarios para la evaluación internacional sobre conocimiento agrícola, ciencia y tecnología para el desarrollo (IAASTD por sus siglas en inglés), y reportan que hay un aumento en el esfuerzo de pesca para dos de ellos. Los escenarios explorados en la EM hasta 2020 muestran dinámicas similares (Alcamo *et al.* 2005) y proyectan un aumento sustancial en la producción por acuicultura. La FAO (2009) analizó las perspectivas para la agricultura para 2015, y sugieren que, dado el estancamiento general de los desembarques de las pesquerías durante los últimos dos decenios, el aumento en la demanda de peces llevará a que aumente la producción por acuicultura.
- 80 El modelo EcoOcean proyecta que habrá cambios en la biomasa de 43 agrupaciones funcionales, incluyendo 25 grupos de peces, tres grupos de mamíferos marinos, un grupo de aves marinas, 11 grupos de invertebrados, dos grupos de productores primarios, y un grupo de detritos. Los submodelos (uno para cada área de FAO, con excepción de los polos) están ajustados para adecuarse a la biomasa y a la captura, por medio de usar el esfuerzo de pesca de cinco flotas como factores para el periodo de 1950 a 2000. Se desarrollaron los escenarios definiendo un conjunto de pesos para los siguientes criterios asociados con las pesquerías: valor, trabajos, estructura del ecosistema y subsidios. Posteriormente estos criterios son usados para calcular los esfuerzos óptimos de pesca durante un periodo de tiempo para cada escenario. Los resultados son reportados utilizando indicadores como los desembarcos por grupo funcional, el índice trófico marino (que mide la distribución de los desembarcos en relación con su posición en la cadena alimenticia, Pauly *et al.* (2003)), y el índice de agotamiento (que representa el nivel relativo de agotamiento por especies por pesca Cheung y Sumaila (2008)).
- 81 Alder *et al.* 2007.
- 82 No hay consenso sobre el nivel de este riesgo y ha sido discutido por Hutchings y Reynolds (2004).
- 83 Véase Baillie *et al.* (2004). También véase a Cheung *et al.* (2007) quien encontró que las especies con una alta vulnerabilidad intrínseca (crecimiento lento y madurez tardía) sufren un mayor impacto por la sobrepesca. Dulvy *et al.* (2004) revisó los métodos disponibles para evaluar el riesgo de extinción de los peces marinos.
- 84 Worm *et al.* (2006) analizaron datos sobre capturas de peces e invertebrados de 1950 a 2003 de 64 ecosistemas marinos que van de los estuarios y áreas costeras a las fronteras hacia el mar de las plataformas continentales. Hicieron gráficas para ver el número de peces e invertebrados colapsados contra el tiempo, esto es, en los taxa cuyas capturas cayeron por abajo del 10% del máximo registrado. Encontraron que alrededor de 1/3 de las especies que actualmente se pescan ya se habían colapsado para el 2003. Las proyecciones hacia el futuro de la tendencia a colapsarse (utilizando una ecuación exponencial) predijeron que para 2050 habría un colapso mundial de las pesquerías. El uso de este tipo de extrapolación y otros aspectos de la publicación ha sido criticada por algunos científicos (Holker *et al.* 2007).
- 85 Newton *et al.* (2007) estudiaron las perspectivas para las pesquerías de islas de arrecifes de coral hasta para 2050. Con base en una estimación de las producciones máximas estimadas, calcularon que la huella ecológica de las pesquerías de arrecifes de coral fue de 164%, lo que significa que necesitaremos un área de 64% o más de arrecifes que lo que existe en el mundo. Encontraron que el tamaño de las poblaciones en las islas era un predictor significativo de la huella ecológica sobre las pesquerías de islas de coral. Utilizando esta relación, y las predicciones de la ONU para el crecimiento poblacional hasta para 2050, predijeron que para ese tiempo, necesitaríamos casi tres veces más del área de arrecife que actualmente existe.
- 86 Ruitenbeek 1996.
- 87 Cheung *et al.* 2009.
- 88 Véase Beddington *et al.* (2007) y Worm *et al.* (2009) y para una visión general de las estrategias para mejorar el manejo de las pesquerías.
- 89 Se ha demostrado que las reservas marinas y las zonas de exclusión tienen un incremento en la diversidad de especies meta y no meta dentro de sus límites (Worm *et al.* 2006) y, dependiendo del diseño, localización y tamaño, puede aumentar las capturas de las zonas adyacentes (Roberts *et al.* 2001), así como aumentar los ingresos por turismo, un servicio cultural (Worm *et al.* 2006).
- 90 Una manera en la que esto puede ser hecho es por medio de acciones por captura o cuotas individuales transferibles, TURF, etcétera (Beddington *et al.* 2007, Costello *et al.* 2008), mediante el cual cada pescador o comunidad se le garantiza una proporción de la captura total permitida. Véase también la discusión sobre los derechos de propiedad en Berkes *et al.* (2006).
- 91 Roughgarden y Smith (1996) han dicho que con el fin de evitar colapsos, se deben manejar existencias de tal manera que una meta esté por arriba de un máximo de producción sustentable y que se coseche menos que la producción máxima sustentable.

- 92 Alder *et al.* 2007.
- 93 Pauly y Alder 2005.
- 94 Los dinoflagelados producen 95% de la energía disponible para los corales (Hoegh-Guldberg *et al.* 2007).
- 95 Donner *et al.* 2005.
- 96 Algunos investigadores han expresado sus dudas sobre los escenarios tan sombríos de los impactos del cambio climático sobre los arrecifes de coral (Hughes *et al.* 2003, Maynard *et al.* 2008). Su argumento es que hay evidencia de la capacidad del coral para adaptarse, cuando menos en parte, al aumento de la temperatura de la superficie del mar y a la acidificación, y que es probable que veremos grandes cambios en las comunidades de arrecifes de coral, pero que éstos no serán necesariamente catastróficos.
- 97 Esto incluye a las especies de fitoplancton que calcifican (Riebesell *et al.* 2000), pterópodos que viven en los océanos de altas latitudes (Orr *et al.* 2005), arrecifes de agua fría y otros organismos marinos que calcifican (Raven *et al.* 2005, Fischlin *et al.* 2007). Pero algunas especies se pueden beneficiar de la interacción entre la acidificación de los océanos y el calentamiento, como sería el caso de las estrellas de mar (Gooding *et al.* 2009).
- 98 Perry *et al.* 2005, Dulvy *et al.* 2008, Whitehead *et al.* 2008, Cheung *et al.* 2009.
- 99 Stempniewicz *et al.* (2007) desarrollaron un escenario de cómo los cambios en la biodiversidad marina en el Ártico puede afectar el ciclo bio-geoquímico de los nutrientes en la tundra. Las aves marinas transportan materia orgánica de zonas del mar ricas en nutrientes a zonas terrestres pobres en nutrientes, por medio de alimentarse de vida marina y depositando guano en sus colonias. Las aguas del Ártico generalmente están dominadas por especies de zooplancton grandes, las cuales soportan aves marinas que comen plancton (por ejemplo el alca pequeña), que anida a unos pocos kilómetros tierra adentro. En su lugar el cambio climático favorecerá la dominancia de especies pequeñas de zooplancton de las aguas del Atlántico, lo cuales soportan especies de peces que se alimentan de plancton y, a su vez de aves que comen peces (por ejemplo el arao común). Los araos comunes que comen peces anidan en acantilados rocosos en la costa, y eso disminuye el transporte de nutrientes tierra adentro, con los impactos negativos en la productividad primaria de las comunidades vegetales de la tundra, lo que afectará a las aves y mamíferos que dependen de la tundra.
- 100 Hoegh-Guldberg *et al.* (2007) describen dos umbrales por arriba de los corales que no han sido encontrados en el último medio millón de años: un umbral térmico de 2° C y una concentración de iones de carbono de 200  $\mu\text{mol kg}^{-1}$  (figura 17).
- 101 Hughes *et al.* (2003) sugirieron que enfrentar el problema de sobrepesca también puede mejorar la capacidad de los arrecifes de coral de resistir los cambios climáticos y otras presiones humanas. Otras medidas para mejorar las condiciones y resistencia de los arrecifes de coral incluyen el control de las fuentes de contaminación y el desarrollo turístico Perry *et al.* 2005, Dulvy *et al.* 2008. La crisis de los arrecifes de coral también abre oportunidades económicas. Dadas las tasas de degradación de muchos arrecifes de coral alrededor del mundo, creemos que las islas que mejor manejen sus arrecifes serán capaces de cosechar a corto plazo, los beneficios económicos que van asociados con el turismo de naturaleza (esto es explorado en una de las historias de los escenarios de la EM, Cork *et al.* 2005).
- 102 Diaz y Rosenberg 2008.
- 103 Véase Cork *et al.* (2005).
- 104 Cork *et al.* 2005, UNEP 2007.
- 105 Barry *et al.* 2008.
- 106 IEEP *et al.* 2009.
- 107 Randall *et al.* 2007.
- 108 [http://www.earthobservations.org/geobon\\_a.shtml](http://www.earthobservations.org/geobon_a.shtml)
- 109 Ambos modelos proyectan un cambio de tundra a bosque boreal en Norteamérica, como lo hace evidente el aumento en el % de la cubierta de árboles (azul) y disminución en el % de la cobertura herbácea (rojo). El modelo TRIFFID predice que habrá una substitución de las selvas tropicales por vegetación herbácea, en especial en el Amazonas, lo que está en completo contraste con los aumentos moderados en la cobertura de árboles que proyecta el modelo de Orchidee. TRIFFID también predice que el bosque boreal substituirá a la tundra en Asia, mientras que el modelo de Orchidee hace proyecciones de cambios mucho más modestos. Es importante notar que ninguno de estos modelos incluye limitaciones en la migración de plantas, de tal manera que pueden sobrestimar el grado que el bosque boreal colonizará a la tundra durante el siglo XXI. Sitch *et al.* (2008) también exploraron la respuesta de otros dos modelos de vegetación mundiales, LPJ y Hyland, que no presentamos aquí.
- 110 Una explicación del cálculo del almacenamiento de carbono en IMAGE lo proporciona van Minnen *et al.* (2009). Para obtener una descripción de IMAGE véase Bouwman *et al.* (2006).
- 111 Xenopoulos y Lodge 2006, Xenopoulos *et al.* 2005.



# LISTA DE ACRÓNIMOS

<b>CDB</b>	Convenio sobre la diversidad biológica
<b>CMNUCC</b>	Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático
<b>DGVM</b>	Modelo dinámico mundial sobre vegetación
<b>EM</b>	Evaluación de los ecosistemas del milenio
<b>GBO2</b>	Perspectiva mundial sobre la biodiversidad 2
<b>GBO3</b>	Perspectiva mundial sobre la biodiversidad 3
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>GEO4</b>	Perspectivas del medio ambiente mundial 4
<b>GEO-BON</b>	Red para la observación mundial de la biodiversidad del grupo de observaciones sobre la Tierra
<b>GVM</b>	Modelo mundial de la vegetación
<b>IAASTD</b>	Evaluación internacional sobre conocimiento agrícola, ciencia y tecnología para el desarrollo
<b>IPBES</b>	Plataforma intergubernamental de ciencia y política sobre biodiversidad y servicios ecosistémicos
<b>IPCC</b>	Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático
<b>LPI</b>	Índice del Planeta Vivo
<b>MSA</b>	Abundancia promedio de especies
<b>MTI</b>	Índice promedio trófico
<b>NBM</b>	Modelos que se basan en el nicho
<b>OECD</b>	Organización para la cooperación económica y el desarrollo
<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente
<b>REDD</b>	Reducir las emisiones por la deforestación y la degradación
<b>TEEB</b>	La economía de los ecosistemas y la biodiversidad
<b>TURF</b>	Derechos de uso del territorio para las pesquerías
<b>UICN</b>	Unión internacional para la conservación de la naturaleza



## REFERENCIAS

- Abell, R., M. L. Thieme, C. Revenga, M. Bryer, M. Kottelat, N. Bogutskaya, B. Coad, N. Mandrak, S. C. Balderas, W. Bussing, M. L. J. Stiassny, P. Skelton, G. R. Allen, P. Unmack, A. Naseka, R. Ng, N. Sindorf, J. Robertson, E. Armijo, J. V. Higgins, T. J. Heibel, E. Wikramanayake, D. Olson, H. L. López, R. E. Reis, J. G. Lundberg, M. H. Sabaj Pérez, y P. Petry. 2008. Freshwater Ecoregions of the World: A New Map of Biogeographic Units for Freshwater Biodiversity Conservation. *BioScience* 58:403-414.
- African Environmental Outlook 2: Our Environment, Our Wealth. 2006. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, ([www.unep.org/dewa/Africa](http://www.unep.org/dewa/Africa)).
- Aizen, M. A., L. A. Garibaldi, S. A. Cunningham y A. M. Klein. 2009. How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany* 103:1579-1588.
- Aizen, M., L. Garibaldi, S. Cunningham y A. Klein. 2008. Long-Term Global Trends in Crop Yield and Production Reveal No Current Pollination Shortage but Increasing Pollinator Dependency. *Current Biology* 18:1572-1575.
- Akçakaya, H., S. Butchart, G. Mace, S. Stuart y C. Hilton-Taylor. 2006. Use and misuse of the IUCN Red List Criteria in projecting climate change impacts on biodiversity. *Global Change Biology* 12:2037-2043.
- Alcamo, J., D. van Vuuren y W. Cramer. 2005a. Changes in ecosystem services and their drivers across scenarios. Pages 297-373 in S. R. Carpenter, L. P. Prabhu, E. M. Bennet y M. B. Zurek (eds.) *Ecosystems and Human Well-Being: Scenarios. Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington DC.
- Alcamo, J., van Vuuren, D. y Ringer, C. 2005b. Methodology for developing the MA scenarios. Pages 145-172 in S.R. Carpenter, L. P. Prabhu, E. M. Bennet y M. B. Zurek (eds.) *Ecosystems and Human Well-Being: Scenarios. Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington DC.
- Alder J., S. Guénette, J. Beblow, W. Cheung y V. Christensen. 2007. Ecosystem-based global fishing policy scenarios. *Fisheries Centre Research Reports* 15 (7).
- Alkemade, R., M. van Oorschot, L. Miles, C. Nellemann, M. Bakkenes y B. ten Brink. 2009. GLOBIO3: A Framework to Investigate Options for Reducing Global Terrestrial Biodiversity Loss. *Ecosystems* 12:374-390.
- Alvain, S., C. Moulin, Y. Dandonneau y H. Loisel. 2008. Seasonal distribution and succession of dominant phytoplankton groups in the global ocean: A satellite view. *Global Biogeochemical Cycles* 22:GB3001.
- Baillie, J. E. M., C. Hilton-Taylor y S. N. Stuart. 2004. 2004 IUCN Red List of Threatened Species. A Global Species Assessment. IUCN, Gland, Switzerland.
- Balmford, A., J. Beresford, J. Green, R. Naidoo, M. Walpole y A. Manica. 2009. A Global Perspective on Trends in Nature-Based Tourism. *PLoS Biology* 7: e1000144.
- Balvanera, P., A. Pfisterer, N. Buchmann, J. He, T. Nakashizuka, D. Raffaelli y B. Schmid. 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* 9:1146-1156.
- Bar Massada, A., Y. Carmel, G. Koniak y I. Noy-Meir. 2009. The effects of disturbance based management on the dynamics of Mediterranean vegetation: A hierarchical and spatially explicit modeling approach. *Ecological Modelling* 220:2525-2535.
- Barry, S. C., K. R. Hayes, C. L. Hewitt, H. L. Behrens, E. Dragsund y S. M. Bakke. 2008. Ballast water risk assessment: principles, processes, and methods. *ICES J. Mar. Sci.* 65:121-131.
- Beddington, J. R., D. J. Agnew y C. W. Clark. 2007. Current Problems in the Management of Marine Fisheries. *Science* 316:1713-1716.
- Bellwood, D. R., T. P. Hughes, C. Folke y M. Nyström. 2004. Confronting the coral reef crisis. *Nature* 429:827-833.
- Berkes, F., T. P. Hughes, R. S. Steneck, J. A. Wilson, D. R. Bellwood, B. Crona, C. Folke, L. H. Gunderson, H. M. Leslie, J. Norberg, M. Nyström, P. Olsson, H. Osterblom, M. Scheffer y B. Worm. 2006. Globalization, Roving Bandits, and Marine Resources. *Science* 311:1557-1558.
- Betts, R. A., Y. Malhi y J. T. Roberts. 2008. The future of the Amazon: new perspectives from climate, ecosystem and social sciences. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363:1729-1735.

- Bigelow, N. H., L. B. Brubaker, M. E. Edwards, S. P. Harrison, I. C. Prentice, P. M. Anderson, A. A. Andreev, P. J. Bartlein, T. R. Christensen, W. Cramer, J. O. Kaplan, A. V. Lozhkin, N. V. Matveyeva, D. F. Murray, A. D. McGuire, V. Y. Razzhivin, J. C. Ritchie, B. Smith, D. A. Walker, K. Gajewski, V. Wolf, B. H. Holmqvist, Y. Igarashi, K. Kremenetskii, A. Paus, M. F. J. Pisaric y V. S. Volkova. 2003. Climate change and Arctic ecosystems: 1. Vegetation changes north of 55 degrees N between the last glacial maximum, mid-Holocene, and present. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 108:D19.
- Biggs, R., H. Simons, M. Bakkenes, R. J. Scholes, B. Eickhout, D. van Vuuren y R. Alkemade. 2008. Scenarios of biodiversity loss in southern Africa in the 21st century. *Global Environmental Change — Human and Policy Dimensions* 18:296-309.
- Bohlen, P. J., S. Lynch, L. Shabman, M. Clark, S. Shukla y H. Swain. 2009. Paying for environmental services from agricultural lands: an example from the northern Everglades. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7:46-55.
- Bond, W. J., F. I. Woodward y G. F. Midgley. 2005. The Global Distribution of Ecosystems in a World without Fire. *New Phytologist* 165:525-537.
- Bopp, L., P. Monfray, O. Aumont, J. Dufresne, H. Le Treut, G. Madec, L. Terray y J. Orr. 2001. Potential impact of climate change on marine export production. *Global Biogeochemical Cycles* 15:81-99.
- Botkin, D. B., H. Saxe, M. B. Araújo, R. Betts, R. H. W. Bradshaw, T. Cedhagen, P. Chesson, T. P. Dawson, J. R. Etterson, D. P. Faith, S. Ferrier, A. Guisan, A. S. Hansen, D. W. Hilbert, C. Loehle, C. Margules, M. New, M. J. Sobel y D. R. B. Stockwell. 2007. Forecasting the Effects of Global Warming on Biodiversity. *BioScience* 57:227.
- Bouwman, A.F., T. Kram y K. Klein Goldewijk (eds) 2006. Integrated modelling of global environmental change. An overview of IMAGE 2.4. Report no. 500110002, Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven, The Netherlands. ISBN 9069601516, pp 228.
- Bouwman, A., G. Van Drecht, J. Knoop, A. Beusen y C. Meinardi. 2005. Exploring changes in river nitrogen export to the world's oceans. *Global Biogeochemical Cycles* 19: GB1002.
- Brooks, T., S. Wright y D. Sheil. 2009. Evaluating the Success of Conservation Actions in Safeguarding Tropical Forest Biodiversity. *Conservation Biology* 23:1448-1457.
- Cahoon DR, Hensel PF, Spencer T, Reed DJ, McKee KL y Saintilan N. 2006. Coastal wetland vulnerability to relative sea-level rise: wetland elevation trends and process controls. Pages 271-292, In: J. T. A. Verhoeven, B. Beltman, R. Bobbink y D. Whigham (eds). *Wetlands and Natural Resource Management. Ecological Studies, Volume 190*, Springer-Verlag Berlin & Heidelberg.
- Carpenter, S. R. 2003. Regime shifts in lake ecosystems: pattern and variation. *International Ecology Institute, Oldendorf/Luhe*.
- Carpenter, S. R., H. A. Mooney, J. Agard, D. Capistrano, R. S. DeFries, S. Diaz, T. Dietz, A. K. Duraiappah, A. Oteng-Yeboah, H. M. Pereira, C. Perrings, W. V. Reid, J. Sarukhan, R. J. Scholes y A. Whyte. 2009. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:1305-1312.
- CDB — Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2006. *Global Biodiversity Outlook 2*. Page 81+vii in UNO-Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Montreal. Montreal.
- Chan, K., M. Shaw, D. Cameron, E. Underwood y G. Daily. 2006. Conservation planning for ecosystem services. *PLoS Biology* 4:2138-2152.
- Chan, K., R. Pringle, J. Ranganathan, C. Boggs, Y. Chan, P. Ehrlich, P. Haff, N. E. Heller, K. Al-Krafaji y D. Macmynowski. 2007. When Agendas Collide: Human Welfare and Biological Conservation. *Conservation Biology* 21:59-68.
- Cheung, W. W. L., R. Watson, T. Morato, T. J. Pitcher y D. Pauly. 2007. Intrinsic vulnerability in the global fish catch. *Marine Ecology Progress Series* 333:1-12.
- Cheung, W. W. y U. R. Sumaila. 2008. Tradeoffs between conservation and socio-economic objectives in managing a tropical marine ecosystem. *Ecological Economics* 66:193-210.
- Cheung, W. W., V. W. Lam, J. L. Sarmiento, K. Kearney, R. Watson y D. Pauly. 2009. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries* 10:235-251.
- Christensen, V., K. A. Aiken y M. C. Villanueva. 2007. Threats to the ocean: on the role of ecosystem approaches to fisheries. *Social Science Information Sur Les Science Sociales* 46:67-86.
- Cook, K. H. y E. K. Vizy. 2006. Coupled model simulations of the West African monsoon system: Twentieth- and twenty-first-century simulations. *Journal of Climate* 19:3681-3703.
- Cork, S., G. Peterson, G. Petschel-Held, J. Alcamo, J. Alder, E. Bennet, E. R. Carr, D. Deane, G. C. Nelson y T. Ribeiro. 2005. Four Scenarios. Pages 223-294 in S. Carpenter, L. P. Prabhu, E. M. Bennet y M. Zurek, editors. *Ecosystems and Human Well-Being: Scenarios*. Island Press, Washington DC.
- Costello, C., S. D. Gaines y J. Lynham. 2008. Can Catch Shares Prevent Fisheries Collapse? *Science* 321:1678-1681.
- Davin, E. y N. de Noblet-Ducoudre. 2010. Climatic Impact of Global-Scale Deforestation: Radiative versus Nonradiative Processes. *Journal of Climate* 23:97-112.
- de Guenni, L., M. Cardoso, J. Goldammer, G. Hurtt y L. J. Mata. 2005. Regulation of Natural Hazards: Floods and Fires. in *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*. Island Press, Washington DC.
- Desanker, PV., P.G.H. Frost, C.O. Justice y R.J. Scholes. 1997. *The Miombo Network: Framework for a Terrestrial Transect Study of Land-Use and Land-Cover Change in the Miombo Ecosystems of Central Africa*. IGBP Report 41, Stockholm, Sweden.

- Diaz, R. J. y R. Rosenberg. 2008. Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science* 321:926-929.
- Donner SD. 2009. Coping with Commitment: Projected Thermal Stress on Coral Reefs under Different Future Scenarios. *Plos One* 4:e5712.
- Donner, S., W. Skirving, C. Little, M. Oppenheimer y O. Hoegh-Guldberg. 2005. Global assessment of coral bleaching and required rates of adaptation under climate change. *Global Change Biology* 11:2251-2265.
- Dulvy, N. K., S. I. Rogers, S. Jennings, Stelzenmü, V. Iler, S. R. Dye y H. R. Skjoldal. 2008. Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas. *Journal of Applied Ecology* 45:1029-1039.
- Dulvy, N., J. Ellis, N. Goodwin, A. Grant, J. Reynolds y S. Jennings. 2004. Methods of assessing extinction risk in marine fishes. *Fish and Fisheries* 5:255-276.
- EM - Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington DC.
- Fang, X., H. G. Stefan, J. G. Eaton, J. H. McCormick y S. R. Alam. 2004a. Simulation of thermal/dissolved oxygen habitat for fishes in lakes under different climate scenarios: Part 1. Cool-water fish in the contiguous US. *Ecological Modelling* 172:13-37.
- Fang, X., H. G. Stefan, J. G. Eaton, J. H. McCormick y S. R. Alam. 2004b. Simulation of thermal/dissolved oxygen habitat for fishes in lakes under different climate scenarios: Part 2. Cold-water fish in the contiguous US. *Ecological Modelling* 172:39-54.
- Fang, X., H. G. Stefan, J. G. Eaton, J. H. McCormick y S. R. Alam. 2004c. Simulation of thermal/dissolved oxygen habitat for fishes in lakes under different climate scenarios: Part 3. Warm-water fish in the contiguous US. *Ecological Modelling* 172:55-68.
- FAO. 2009. The State of World Fisheries and Aquaculture 2008. FAO.
- Finlayson, C. M. y R. D'Cruz. 2005. Inland Water Systems. p. 551-584 in Hassan R., R. Scholes and N. Ash (eds). *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends, Volume 1. The Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington DC.
- Fischlin, A., G. F. Midgley, J. Price, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, M. Rounsevell, P. Dube, J. Tarazona y A. Velichko. 2007. Ecosystems, their properties, goods and services. Page 211 in M. Parry, O. Canziani, J. Palutikof, P. van der Linden y C. Hanson, editors. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Folley, J. A. 2005. Tipping points in the tundra. *Science* 310:627-628.
- Frost, P.G.H. 1996. The Ecology of Miombo Woodlands. In: Campbell B. (ed.), *The Miombo in Transition: Woodlands and Welfare in Africa*. Centre for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia, pp. 11-55.
- Froyd, C. y K. Willis. 2008. Emerging issues in biodiversity and conservation management: The need for a palaeoecological perspective. *Quaternary Science Reviews* 27:1723-1732.
- Gallai, N., J. Salles, J. Settele y B. Vaissiere. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68:810-821.
- Gaston, K. 2010. Valuing Common Species. *Science* 327:154-155.
- Gilman, E., J. Ellison, N. Duke y C. Field. 2008. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review *Aquatic Botany* 89: 237-250.
- Gooding, R. A., C. D. G. Harley y E. Tang. 2009. Elevated water temperature and carbon dioxide concentration increase the growth of a keystone echinoderm. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:9316-9321.
- Gopal, B. 2005. Does inland aquatic biodiversity have a future in Asian developing countries? *Hydrobiologia* 542:69-75.
- Grainger, A., D. H. Boucher, P. C. Frumhoff, W. F. Laurance, T. Lovejoy, J. McNeely, M. Niekisch, P. Raven, N. S. Sodhi, O. Venter y S. L. Pimm. 2009. Biodiversity and REDD at Copenhagen. *Current Biology* 19:R974-R976.
- Greene, C. H., A. J. Pershing, T. M. Cronin y N. Ceci. 2008. Arctic climate change and its impacts on the ecology of the North Atlantic. *Ecology* 89:S24-S38.
- Gullison, R. E., P. C. Frumhoff, J. G. Canadell, C. B. Field, D. C. Nepstad, K. Hayhoe, R. Avissar, L. M. Curran, P. Friedlingstein, C. D. Jones y C. Nobre. 2007. Tropical Forests and Climate Policy. *Science* 316:985-986.
- Hays, G. C., A. J. Richardson y C. Robinson. 2005. Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology and Evolution* 20:337-344.
- Heal, G., G. C. Daily, P. R. Ehrlich, J. Salzman, C. L. Boggs, J. J. Hellmann, J. Hughes, C. Kremen y T. Ricketts. 2001. Protecting natural capital through ecosystem service districts. *Stanford Environmental Law Journal* 20:333-364.
- Heino, J., R. Virkkala y H. Toivonen. 2009. Climate change and freshwater biodiversity: detected patterns, future trends and adaptations in northern regions. *Biological Reviews* 84:39-54.
- Heller, N. E. y E. S. Zavaleta. 2009. Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation* 142:14-32.
- Hillebrand, H. y B. Matthiessen. 2009. Biodiversity in a complex world: consolidation and progress in functional biodiversity research. *Ecology Letters* 12:1405-1419.
- Hoegh-Guldberg, O., P. J. Mumby, A. J. Hooten, R. S. Steneck, P. Greenfield, E. Gomez, C. D. Harvell, P. F. Sale, A. J. Edwards, K. Caldeira, N. Knowlton, C. M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R. H. Bradbury, A. Dubi y M. E. Hatzioiols. 2007. Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science* 318:1737-1742.

- Hölker, F., D. Beare, H. Dorner, A. di Natale, H. Ratz, A. Temming y J. Casey. 2007. Comment on "Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services". *Science* 316:1285c.
- Holland, M. M., C. M. Bitz y B. Tremblay. 2006. Future abrupt reductions in the summer Arctic sea ice. *Geophysical Research Letters* 33: L23503.
- Howarth, R. y S. Bringezu. 2008. Biofuels: Environmental Consequences and Interactions with Changing Land Use. SCOPE, Gummersbach, Germany.
- Hughes, T. P., A. H. Baird, D. R. Bellwood, M. Card, S. R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J. B. C. Jackson, J. Kleyvas, J. M. Lough, P. Marshall, M. Nystrom, S. R. Palumbi, J. M. Pandolfi, B. Rosen y J. Roughgarden. 2003. Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. *Science* 301:929-933.
- Hughes, T. P., D. R. Bellwood, C. Folke, R. S. Steneck y J. Wilson. 2005. New paradigms for supporting the resilience of marine ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 20:380-386.
- Hutchings, J. y J. Reynolds. 2004. Marine fish population collapses: Consequences for recovery and extinction risk. *BioScience* 54:297-309.
- Ibanez, I., J. Clark, M. Dietze, K. Feeley, M. Hersh, S. LaDeau, A. McBride, N. Welch y M. Wolosin. 2006. Predicting biodiversity change: Outside the climate envelope, beyond the species-area curve. *Ecology* 87:1896-1906.
- IEEP, Alterra, Ecologic, PBL y UNEP-WCMC. 2009. Scenarios and models for exploring future trends of biodiversity and ecosystem services changes. Final report to the European Commission, DG Environment on Contract ENV.G.1/ETU/2008/0090r., Institute for European Environmental Policy, Alterra Wageningen UR, Ecologic, Netherlands Environmental Assessment Agency, United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K y Reisinger, A. (eds)]. Page 104 pp. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Ishidaira, H., Y. Ishikawa, S. Funada y K. Takeuchi. 2008. Estimating the evolution of vegetation cover and its hydrological impact in the Mekong River basin in the 21st century. *Hydrological Processes* 22:1395-1405.
- Jankowski, T., D. Livingstone, H. Buhner, R. Forster y P. Niederhauser. 2006. Consequences of the 2003 European heat wave for lake temperature profiles, thermal stability, and hypolimnetic oxygen depletion: Implications for a warmer world. *Limnology and Oceanography* 51:815-819.
- Jetz, W., D. S. Wilcove y A. P. Dobson. 2007. Projected impacts of climate and land-use change on the global diversity of birds. *PLoS Biology* 5:e157.
- Johnson, P., J. Olden y M. vander Zanden. 2008. Dam invaders: impoundments facilitate biological invasions into freshwaters. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6:359-365.
- Koch, P. L. y A. D. Barnosky. 2006. Late Quaternary Extinctions: State of the Debate. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 37:215-250.
- Kok, M. T. J., J. A. Bakkes, B. Eickhout, A. J. G. Manders, M. M. P. V. Oorschot, D. V. Vuuren, M. V. Wees y H. J. Westhoek. 2008. Lessons from global environmental assessments. Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven.
- Kremen, C., N. M. Williams, M. A. Aizen, B. Gemmill-Herren, G. LeBuhn, R. Minckley, L. Packer, S. G. Potts, T. Roulston, I. Steffan-Dewenter, D. P. Vázquez, R. Winfree, L. Adams, E. E. Crone, S. S. Greenleaf, T. H. Keitt, A. Klein, J. Regetz y T. H. Ricketts. 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters* 10:299-314.
- Lake, P. S. y N. R. Bond. 2007. Australian futures: Freshwater ecosystems and human water usage. *Futures* 39:288-305.
- Leclerc, M. 2005. The ecohydraulics paradigm shift: IAHR enters a new era. *Journal of Hydraulic Research* 43:63-64.
- Lemke, P., J. Ren, R. B. Alley, I. Allison, J. Carrasco, G. Flato, Y. Fujii, G. Kaser, P. Mote, R. H. Thomas y T. Zhang. 2007. Observations: changes in snow, ice and frozen ground. Pages 337-383 in S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor y H. L. Miller, editors. *Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Leprieur, F., O. Beauchard, S. Blanchet, T. Oberdorff y S. Brosse. 2008. Fish invasions in the world's river systems: When natural processes are blurred by human activities. *PLoS Biology* 6:404-410.
- Lindemann-Matthies, P., X. Junge y M. Dierhart (2010). The influence of plant diversity on people's perception and aesthetic appreciation of grassland vegetation. *Biological Conservation*, 143, 195-202
- Loreau, M., S. Naeem, P. Inchausti, J. Bengtsson, J. P. Grime, A. Hector, D. U. Hooper, M. A. Huston, D. Raffaelli, B. Schmid, D. Tilman y D. A. Wardle. 2001. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Current Knowledge and Future Challenges. *Science* 294:804-808.
- Lucht, W., S. Schaphoff, T. Erbrecht, U. Heyder y W. Cramer. 2006. Terrestrial vegetation redistribution and carbon balance under climate change. *Carbon Balance and Management* 1:6.
- Ludeke, M. K., G. Petschel-Held y H. J. Schellnhuber. 2004. Syndromes of global change: the first panoramic view. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society* 13:42-49.

- Malcolm, J. R., C. Liu, R. P. Neilson, L. Hansen y L. Hannah. 2006. Global Warming and Extinctions of Endemic Species from Biodiversity Hotspots. *Conservation Biology* 20:538-548.
- Malhi, Y., J. T. Roberts, R. A. Betts, T. J. Killeen, W. H. Li y C. A. Nobre. 2008a. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science* 319:169-172.
- Maynard, J., K. Anthony, P. Marshall y I. Masiri. 2008. Major bleaching events can lead to increased thermal tolerance in corals. *Marine Biology* 155:173-182.
- Mbow, C., O. Mertz, A. Diouf, K. Rasmussen y A. Reenberg. 2008. The history of environmental change and adaptation in eastern Saloum-Senegal-Driving forces and perceptions. *Global and Planetary Change* 64:210-221.
- McGuire AD, Anderson LG, Christensen TR, Dallimore S, Guo LD, Hayes DJ, Heimann M, Lorensen TD, Macdonald RW y Roulet N. 2009. Sensitivity of the carbon cycle in the Arctic to climate change. *Ecological Monographs* 79: 523-555.
- Mooney, H.A., R.N. Mack, J.A. McNeely, L.E. Neville, P.J. Schei y J.K. Waage (eds) 2005. *Invasive alien species: A new synthesis*. Island Press, Washington DC. 368 p.
- Moore, S. E. y H. P. Huntington. 2008. Arctic marine mammals and climate change: Impacts and resilience. *Ecological Applications* 18:S157-S165.
- Morris, J. T., P. V. Sundareshwar, C. T. Nietch, B. Kjerfve y D. R. Cahoon. 2002. Responses of coastal wetlands to rising sea-level. *Ecology* 83: 2869-2877.
- Naidoo, R., A. Balmford, R. Costanza, B. Fisher, R.E. Green, B. Lehner, T. Malcolm y T. Ricketts. 2008. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105:9495-9500.
- Neilson R.P., I.C. Prentice, B. Smith, T.G.F. Kittel y D. Viner. 1998. Simulated changes in vegetation distribution under global warming. p. 439-56 in Watson R.T., M.C. Zinyowera, R.H. Moss, D.J. Dokken (eds) *The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Nelson, E., G. Mendoza, J. Regetz, S. Polasky, H. Tallis, D. Cameron, K. M. Chan, G. C. Daily, J. Goldstein, P. M. Kareiva, E. Lonsdorf, R. Naidoo, T. H. Ricketts y M. Shaw. 2009. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7:4-11.
- Nentwig, W. (ed.) 2007. *Biological invasions*. Ecological Studies series No. 193, Springer, Berlin, 441 p.
- Nepstad, D. C., C. M. Stickler, B. Soares y F. Merry. 2008. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363:1737-1746.
- Newton, K., I. M. Côté, G. M. Pilling, S. Jennings y N. K. Dulvy. 2007. Current and Future Sustainability of Island Coral Reef Fisheries. *Current Biology* 17:655-658.
- Nielsen, S., E. Bayne, J. Schieck, J. Herbers y S. Boutin. 2007. A new method to estimate species and biodiversity intactness using empirically derived reference conditions. *Biological Conservation* 137:403-414.
- Nilsson, C., C. A. Reidy, M. Dynesius y C. Revenga. 2005. Fragmentation and Flow Regulation of the World's Large River Systems. *Science* 308:405-408.
- Nobre, C. A. y L. D. Borma. 2009. 'Tipping points' for the Amazon forest. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 1:28-36.
- Oberdorff, T., S. Lek y J. Guegan. 1999. Patterns of endemism in riverine fish of the Northern Hemisphere. *Ecology Letters* 2:75-81.
- OECD, 2008. *Environmental outlook to 2030*. Paris, France: Organization for Economic Cooperation and Development
- Oelmann, Y., C. Potvin, T. Mark, L. Werther, S. Tapernon y W. Wilcke. 2010. Tree mixture effects on aboveground nutrient pools of trees in an experimental plantation in Panama. *Plant and Soil* 326:199-212.
- Orr, J. C., V. J. Fabry, O. Aumont, L. Bopp, S. C. Doney, R. A. Feely, A. Gnanadesikan, N. Gruber, A. Ishida, F. Joos, R. M. Key, K. Lindsay, E. Maier-Reimer, R. Matear, P. Monfray, A. Mouchet, R. G. Najjar, G. Plattner, K. B. Rodgers, C. L. Sabine, J. L. Sarmiento, R. Schlitzer, R. D. Slater, I. J. Totterdell, M. Weirig, Y. Yamanaka y A. Yool. 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437:681-686.
- Overpeck, J. y J. Weiss. 2009. Projections of future sea level becoming more dire. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:21461-21462.
- Palahi M, R. Mavsar, C. Gracia y Y. Birot. 2008. Mediterranean Forests under focus. *International Forestry Review* 10: 676-688.
- Palmer, M. A., C. A. R. Liermann, C. Nilsson, M. Floerke, J. Alcamo, P. S. Lake y N. Bond. 2008. Climate change and the world's river basins: anticipating management options. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6:81-89.
- Pandolfi, J. M., R. H. Bradbury, E. Sala, T. P. Hughes, K. A. Bjorndal, R. G. Cooke, D. McArdle, L. McClenachan, M. J. H. Newman, G. Paredes, R. B. Aronson, R. R. Warner, J. B. C. Jackson, T. P. Hughes, A. H. Baird, D. R. Bellwood, S. R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J. B. C. Jackson, J. F. Bruno, J. Kleypas, J. M. Lough, P. Marshall, M. Nystrom, S. R. Palumbi, J. M. Pandolfi, B. Rosen, J. Roughgarden, W. F. Precht, P. W. Glynn, C. D. Harvell, L. Kaufman, C. S. Rogers, E. A. Shinn y J. F. Valentine;. 2003. Causes of Coral Reef Degradation. *Science* 302:1502b-1504.
- Paterson, J., M. B. Araújo, P. M. Berry, J. M. Piper y M. Rounsevell. 2008. Mitigation, Adaptation, and the Threat to Biodiversity. *Conservation Biology* 22:1352-1355.
- Pauly, D. y J. Alder. 2005. Marine Fisheries Systems. p. 477-512 in Hassan R., R. Scholes y N. Ash (eds). *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends, Volume 1. The Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington DC.

- Pauly, D., J. Alder, E. Bennett, V. Christensen, P. Tyedmers y R. Watson. 2003. The future for fisheries. *Science* 302:1359-1361.
- Pauly, D., V. Christensen, S. Guénette, T. J. Pitcher, U. R. Sumaila, C. J. Walters, R. Watson y D. Zeller. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature* 418:689-695.
- Pausas, J. G., J. Llovet, A. Rodrigo y R. Vallejo. 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? — A review. *International Journal of Wildland Fire* 17:713-723.
- Pejchar, L. y H. Mooney. 2009. Invasive species, ecosystem services and human well-being. *Trends in Ecology and Evolution* 24:497-504.
- Perry, A. L., P. J. Low, J. R. Ellis y J. D. Reynolds. 2005. Climate Change and Distribution Shifts in Marine Fishes. *Science* 308:1912-1915.
- Poff N.L., M.M. Brinson y J.W. Day Jr. 2002. Aquatic ecosystems and global climate change: Potential impacts on inland freshwater and coastal wetland ecosystems in the United States. Pew Center on Global Climate Change, Philadelphia and Washington DC.
- Pounds, J., M. R. Bustamante, L. A. Coloma, J. A. Consuegra, M. P. L. Fogden, P. N. Foster, E. La Marca, K. L. Masters, A. Merino-Viteri, R. Puschendorf, S. R. Ron, G. A. Sanchez-Azofeifa, C. J. Still y B. E. Young. 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature* 439:161-167.
- Prugh, L. R., K. E. Hodges, A. R. E. Sinclair y J. S. Brashares. 2008. Effect of habitat area and isolation on fragmented animal populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105:20770-20775.
- Randall, D.A., R.A. Wood, S. Bony, R. Colman, T. Fichfet, J. Fyfe, V. Kattsov, A. Pitman, J. Shukla, J. Srinivasan, R.J. Stouffer, A. Sumi y K.E. Taylor (2007) Climate models and their evaluation. In Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor y H.L. Miller (eds) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Ranganathan, J., R. Daniels, M. Chandran, P. Ehrlich y G. Daily. 2008. Sustaining biodiversity in ancient tropical countryside. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105:17852-17854.
- Raven, J., K. Caldeira, H. Elderfield, O. Hoegh-Guldberg, P. Liss, U. Riebesell, J. Shepherd, C. Turley y A. Watson. 2005. Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide. Policy document 12/05. Policy document, The Royal Society. The Clyvedon Press Ltd, Cardiff.
- Reynolds, J. F., D. M. Stafford Smith, E. F. Lambin, B. L. Turner, M. Mortimore, S. P. J. Batterbury, T. E. Downing, H. Dowlatabadi, R. J. Fernandez, J. E. Herrick, E. Huber-Sannwald, H. Jiang, R. Leemans, T. Lynam, F. T. Maestre, M. Ayarza y B. Walker. 2007. Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science* 316:847-851.
- Richardson, A. J., A. Bakun, G. C. Hays y M. J. Gibbons. 2009. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. *Trends in Ecology and Evolution* 24:312-322.
- Richardson, D., J. Hellmann, J. McLachlan, D. Sax, M. Schwartz, P. Gonzalez, E. Brennan, A. Camacho, T. Root, O. Sala, S. Schneider, D. Ashe, J. Clark, R. Early, J. Etterson, E. Fielder, J. Gill, B. Minter, S. Polasky, H. Safford, A. Thompson y M. Vellend. 2009. Multidimensional evaluation of managed relocation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106:9721-9724.
- Riebesell, U., A. Kortzinger y A. Oschlies. 2009. Sensitivities of marine carbon fluxes to ocean change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:20602-20609.
- Riebesell, U., I. Zondervan, B. Rost, P. D. Tortell, R. E. Zeebe y F. M. M. Morel. 2000. Reduced calcification of marine plankton in response to increased atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature* 407:364-367.
- Roberts, C. M., J. A. Bohnsack, F. Gell, J. P. Hawkins y R. Goodridge. 2001. Effects of Marine Reserves on Adjacent Fisheries. *Science* 294:1920-1923.
- Rost, B., I. Zondervan y D. Wolf-Gladrow. 2008. Sensitivity of phytoplankton to future changes in ocean carbonate chemistry: current knowledge, contradictions and research directions. *Marine Ecology Progress Series* 373:227-237.
- Rothman, J. Agard y J. Alcamo. 2007. The future today. Pages 397-456 in *Global Environmental Outlook 4*. UNEP, Nairobi.
- Roughgarden, J. y F. Smith. 1996. Why fisheries collapse and what to do about it. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 93:5078-5083.
- Ruitenbeek, H. J. 1996. The great Canadian fishery collapse: some policy lessons. *Ecological Economics* 19:103-106.
- Sala, O. E., D. P. Van Vuuren, H. M. Pereira, D. Lodge, J. Alder, G. Cumming, A. Dobson, W. Volters, M. Xenopoulos y A. Zaitsev. 2005. Biodiversity across scenarios. *Ecosystems and Human Well-Being: Scenarios*. Pages 375-408 in *Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington DC.
- Sala, O.E., F.S.Chapin, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. HuberSanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker y D.H. Wall. 2000. Biodiversity: Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287, 1770-1774.
- Sax, D.F. y S.D. Gaines. 2008. Species invasions and extinction: The future of native biodiversity on islands. *Proceedings of the National Academy of Science* 105:11490-11497.
- Schaphoff, S., W. Lucht, D. Gerten, S. Sitch, W. Cramer y I. C. Prentice. 2006. Terrestrial biosphere carbon storage under alternative climate projections. *Climatic Change* 74:97-122.
- Scheffer, M., S. H. Hosper, M. L. Meijer, B. Moss y E. Jeppesen. 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology and Evolution* 8:275-279.

- Schmitz, O. J., E. Post, C. E. Burns y K. M. Johnston. 2003. Ecosystem responses to global climate change: Moving beyond color mapping. *BioScience* 53:1199-1205.
- Scholes, R.J. y R. Biggs (eds). 2004. Ecosystem services in southern Africa: a regional assessment. CSIR, Pretoria.
- Schroter, D., W. Cramer, R. Leemans, I. C. Prentice, M. B. Araujo, N. W. Arnell, A. Bondeau, H. Bugmann, T. R. Carter, C. A. Gracia, A. C. de la Vega-Leinert, M. Erhard, F. Ewert, M. Glendinning, J. I. House, S. Kankaanpaa, R. J. T. Klein, S. Lavorel, M. Lindner, M. J. Metzger, J. Meyer, T. D. Mitchell, I. Reginster, M. Rounsevell, S. Sabate, S. Sitch, B. Smith, J. Smith, P. Smith, M. T. Sykes, K. Thonicke, W. Thuiller, G. Tuck, S. Zaehle y B. Zierl. 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* 310:1333-1337.
- Sitch, S., C. Huntingford, N. Gedney, P. E. Levy, M. Lomas, S. L. Piao, R. Betts, P. Ciaais, P. Cox, P. Friedlingstein, C. D. Jones, I. C. Prentice y F. I. Woodward. 2008. Evaluation of the terrestrial carbon cycle, future plant geography and climate-carbon cycle feedbacks using five Dynamic Global Vegetation Models (DGVMS). *Global Change Biology* 14:2015-2039.
- Smith, V. H., and D. W. Schindler. 2009. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution* 24: 201-207.
- Stehfest, E., L. Bouwman, D. van Vuuren, M. den Elzen, B. Eickhout y P. Kabat. 2009. Climate benefits of changing diet. *Climatic Change* 95:83-102.
- Stempniewicz, L., K. Blachowlak-Samolyk y J. M. Weslawski. 2007. Impact of climate change on zooplankton communities, seabird populations and arctic terrestrial ecosystem - A scenario. *Deep-sea Research Part II. Topical Studies in Oceanography* 54:2934-2945.
- Stork, N. E., J. A. Coddington, R. K. Colwell, R. L. Chazdon, C. W. Dick, C. A. Peres, S. Sloan y K. Willis. 2009. Vulnerability and Resilience of Tropical Forest Species to Land-Use Change. *Conservation Biology* 23:1438-1447.
- ten Brink, B., R. Alkemade, M. Bakkenes, B. Eickhout, M. de Heer, T. Kram, T. Mander, M. van Oorschot, F. Smout, J. Clement, D. P. van Vuuren, H. J. Westhoek, L. Miles, I. Lysenko, L. Fish, C. Nellemann, H. van Meijl y A. Tabeau. 2007. Cross-roads of Life on Earth - Exploring means to meet the 2010 Biodiversity Target. Solution — oriented scenarios for Global Biodiversity Outlook 2. Secretariate of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Technical series no. 31, 90 pages.
- Thomas, C. D., A. Cameron, R. E. Green, M. Bakkenes, L. J. Beaumont, Y. C. Collingham, B. F. N. Erasmus, M. F. de Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A. S. van Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Miles, M. A. Ortega-Huerta, A. Townsend Peterson, O. L. Phillips y S. E. Williams. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145-148.
- Thuiller, W., C. Albert, M. B. Araújo, P. M. Berry, M. Cabeza, A. Guisan, T. Hickler, G. F. Midgley, J. Paterson, F. M. Schurr, M. T. Sykes y N. E. Zimmermann. 2008. Predicting global change impacts on plant species' distributions: Future challenges. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 9:137-152.
- Thuiller, W., S. Lavorel, M. B. Araujo, M. T. Sykes y I. C. Prentice. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102:8245-8250.
- UNEP. 2002. Global Environment Outlook 3. UNEP.
- UNEP. 2007. Global Environment Outlook 4. UNEP, Valleta, Malta.
- UNEP-WCMC. 2009. International Expert Workshop on the 2010 Biodiversity Indicators and Post-2010 Indicator Development. UNEP-WCMC, Cambridge.
- Vallejo, V. R., J. Aronson, J. Pausas y J. Cortina. 2006. Restoration of mediterranean woodlands. Chapter 14 in J. Van Andel, and J. Aronson, editors, *Restoration ecology. The new frontier*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Van Minnen J.G., K. Klein Goldewijk, E. Stehfest, B. Eickhout, G. Van Drecht y R. Leemans (2009) The importance of three centuries of land-use change for the global and regional terrestrial carbon cycle. *Climatic Change* 97:123-144.
- van Vuuren, D., O. Sala y H. M. Pereira. 2006. The Future of Vascular Plant Diversity Under Four Global Scenarios. *Ecology and Society* 11:25.
- Wahren, C. H. A., M. D. Walker y M. S. Bret-Harte. 2005. Vegetation responses in Alaskan arctic tundra after 8 years of a summer warming and winter snow manipulation experiment. *Global Change Biology* 11:537-552.
- Walker, M., M. McLean, A. Dison y R. Peppin-Vaughan. 2009. South African universities and human development: Towards a theorisation and operationalisation of professional capabilities for poverty reduction. *International Journal of Educational Development* 29:565-572.
- Whitehead, H., B. McGill y B. Worm. 2008. Diversity of deep-water cetaceans in relation to temperature: implications for ocean warming. *Ecology Letters* 11:1198-1207.
- Willis, K. y S. Bhagwat. 2009. Biodiversity and Climate Change. *Science* 326:806-807.
- Willis, K., M. Araujo, K. Bennett, B. Figueroa-Rangel, C. Froyd y N. Myers. 2007. How can a knowledge of the past help to conserve the future? Biodiversity conservation and the relevance of long-term ecological studies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 362:175-186.
- Winton, M. 2006. Does the Arctic sea ice have a tipping point. *Geophysical Research Letters* 33:L23504.
- Wise, M., K. Calvin, A. Thomson, L. Clarke, B. Bond-Lamberty, R. Sands, S. J. Smith, A. Janetos y J. Edmonds. 2009. Implications of Limiting CO<sub>2</sub> Concentrations for Land Use and Energy. *Science* 324:1183-1186.



- Wood, S., S. Ehui, J. Alder, S. Benin, K. Cassman, D. Cooper, T. Johns, J. Gaskell, R. Grainger, S. Kadungure, J. Otte, A. Rola, R. Watson, U. Wijkstrom y C. Devendra. 2005. Food. Pages 209-241 in *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*. Island Press, Washington DC.
- World Bank, Climate Change and Clean Energy Initiative. 2010. Assessment of the Risk of Amazon Dieback. <http://www.bicusa.org/en/Document.101982.aspx>
- Worm, B., E. B. Barbier, N. Beaumont, J. E. Duffy, C. Folke, B. S. Halpern, J. B. C. Jackson, H. K. Lotze, F. Micheli, S. R. Palumbi, E. Sala, K. A. Selkoe, J. J. Stachowicz y R. Watson. 2006. Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science* 314:787-790.
- Worm, B., R. Hilborn, J. K. Baum, T. A. Branch, J. S. Collie, C. Costello, M. J. Fogarty, E. A. Fulton, J. A. Hutchings, S. Jennings, O. P. Jensen, H. K. Lotze, P. M. Mace, T. R. McClanahan, C. Minto, S. R. Palumbi, A. M. Parma, D. Ricard, A. A. Rosenberg, R. Watson y D. Zeller. 2009. Rebuilding Global Fisheries. *Science* 325:578-585.
- WWF. 2008. Living planet report 2008. WWF International, Gland, Switzerland.
- Xenopoulos, M. A., D. M. Lodge, J. Alcamo, M. Marker, K. Schulze y D. P. Van Vuuren. 2005. Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. *Global Change Biology* 11:1557-1564.
- Xenopoulos, M. A. y D. M. Lodge. 2006. Going with the flow: using species-discharge relationships to forecast losses in fish biodiversity. *Ecology* 87:1907-1914





