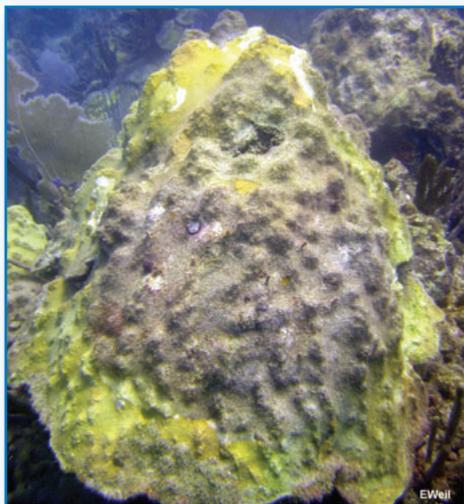


ISSUES IN ECOLOGY

Publicado por La Sociedad Ecológica de América

Cambio Climático y Recursos Naturales de los Estados Unidos: avanzando la capacidad de la Nación para adaptarse

Susan H. Julius, Jordan M. West, Daniel Nover, Rachel Hauser, David S. Schimel,
Anthony C. Janetos, Margaret K. Walsh, Peter Backlund



Otoño 2013

Informe número 18

esa

Cambio Climático y Recursos Naturales de los Estados Unidos: avanzando la capacidad de la Nación para adaptarse

Susan H. Julius, Jordan M. West, Daniel Nover, Rachel Hauser, David S. Schimel,
Anthony C. Janetos, Margaret K. Walsh, Peter Backlund

RESUMEN

El cambio climático afecta a la tierra, el agua y la biodiversidad de varias maneras. Temperaturas más elevadas, patrones de precipitación alterados, incremento en eventos extremos (como sequías e inundaciones) y el aumento de disturbios están ocurriendo en todo Estados Unidos con efectos perjudiciales en sistemas susceptibles. Este tipo de cambios, combinados con otros factores de estrés como la fragmentación del paisaje, podrían impedir considerablemente la capacidad de los manejadores de recursos naturales de mantener los objetivos establecidos para los ecosistemas y las especies ahora y en el futuro.

Si bien el manejar los ecosistemas y recursos apoyándose en un determinado conjunto de condiciones climáticas puede haber funcionado en el pasado, un número creciente de manejadores entienden la necesidad de desarrollar nuevas formas para manejar los ecosistemas ante el cambio climático. El objetivo de esta edición es ofrecer una perspectiva amplia sobre los enfoques para la adaptación a los impactos del cambio climático, sobre los recursos hidrológicos nacionales y de la tierra y la biodiversidad. Utilizando ejemplos de diferentes configuraciones de administración, exploramos maneras de aplicar opciones de manejo que permitan a los sistemas naturales y los manejadores adaptarse a la gama de posibles variaciones en condiciones climáticas futuras.

Recomendaciones generales para la administración de los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas y los recursos incluyen:

- **Planear** – Realizar un plan de adaptación sistemático basado en la vulnerabilidad de los objetivos de manejo para el cambio climático.
- **Tratar la incertidumbre** – Analizar los efectos de las principales fuentes de incertidumbre sobre las opciones de adaptación con métodos de contexto específico.
- **Mecanismos de apoyo** – Ajustar herramientas de manejo existentes a los cambios en patrones de impactos climáticos temporales y espaciales y respuestas ecológicas.
- **Aumentar la flexibilidad** – Cultivar flexibilidad institucional y cooperación para alcanzar objetivos de planificación de adaptación.
- **Ampliar e integrar** – Coordinar los esfuerzos de investigación y administración en todas las jurisdicciones para ampliar la información disponible y la escala en donde las herramientas de manejo pueden ser aplicadas.
- **Monitorear** – Mejorar y aumentar las redes de monitoreo existentes para detectar y medir los impactos del cambio climático y las respuestas de los ecosistemas a las acciones de manejo.
- **Revisión** – Evaluar la eficacia de las opciones de la administración; revisar y mejorar los planes de adaptación en consecuencia.
- **Determinar y actualizar** – Realizar y actualizar las evaluaciones con frecuencia para determinar los cambios en prioridades y condiciones dentro de los sistemas de interés.

Se necesita una investigación coordinada y una planificación estratégica para el cambio climático en todas las agencias del gobierno para aumentar la capacidad nacional de adaptación. El Sistema Nacional para la Evaluación del Clima en los EE.UU. ofrece una plataforma para conectar redes de expertos locales, regionales y nacionales y tomadores de decisiones, para el intercambio de información, lecciones aprendidas y conocimientos sobre impactos y adaptación para apoyar la adaptación en la toma de decisiones. Con tiempo, y con esfuerzo concentrado, la implementación de estas recomendaciones y los cambios en todos los niveles de la administración nos ayudará a prepararnos para afrontar con éxito el cambio climático.

Fotos de la portada: (en sentido de reloj desde la izquierda superior): a) daño de Escarabajo Descortezador en pino contorta en Colorado; b) patos Golondrinos Norteños en vuelo en el refugio de aves migratorias Bear River, Utah; c) Escarabajo Descortezador; d) Blanqueamiento del coral causado por temperaturas altas de agua.

Créditos fotográficos: a) Flickr user vsmoothe; b) J. Kelly, U.S. Fish and Wildlife Service; c) Jeff Mitton, Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Colorado, Boulder; d) Ernesto Weil, University of Puerto Rico at Mayaguez.

Cambio Climático y Recursos Naturales de los Estados Unidos: avanzando la capacidad de la Nación para adaptarse

Susan H. Julius, Jordan M. West, Daniel Nover, Rachel Hauser, David S. Schimel, Anthony C. Janetos, Margaret K. Walsh, Peter Backlund

Introducción

El clima de la tierra está cambiando, afectando los ecosistemas y trayéndole a los manejadores de recursos más incertidumbre y riesgo de no alcanzar sus objetivos. Algunas observaciones que apoyan estas tendencias incluyen temperaturas consistentemente más altas y eventos de precipitación más extremas, aumento en el nivel del mar, y el aumento de la acidez del océano. Los Estados Unidos han visto un incremento en la temperatura de un promedio de alrededor de 1.5°F desde 1895, y es probable que veamos un aumento adicional de 2°F a 4°F en las próximas dos o tres décadas (aquí y a lo largo de este artículo, cuando un evento o resultado se describe como “probable”, significa que tiene más del 66% de probabilidad de ocurrir). Durante el siglo pasado, EE.UU. también ha visto un aumento en eventos de precipitación muy fuertes en todas las regiones excepto en el suroeste, noroeste, y las islas del Pacífico, incluyendo Hawái. A nivel global, el nivel del mar ha aumentado cerca de 8 pulgadas en el último siglo y se prevé que aumente 1 a 4 pies adicionales durante este siglo. La acidificación del océano ha aumentado un 30% debido al aumento de dióxido de carbono en la atmósfera. Otras tendencias observadas incluyen inundaciones y sequías más frecuentes o más intensas en algunas regiones del país y derretimiento de glaciares en zonas árticas.

Estos cambios climáticos afectan a los ecosistemas y la biodiversidad, más frecuentemente de maneras adversas. Los efectos incluyen la degradación de la calidad del aire y del agua, reducción de la productividad de los bosques y de las tierras áridas, la pérdida de especies emblemáticas y los paisajes, y la ruptura de las relaciones depredador-presa que lleva a la aparición de plagas y las invasiones de especies no nativas. Algunas especies han respondido mudándose a mayores altitudes y latitudes en respuesta a temperaturas más elevadas, pero

muchas especies pueden no ser capaces de seguir el ritmo del cambio climático debido a limitaciones en la dispersión de semillas o la movilidad. En algunos lugares, estas limitaciones conducirán a extinciones locales de plantas y animales, causando grandes cambios en la composición de especies y la creación de nuevas comunidades. Aunque es posible que un clima más cálido podría aumentar la biodiversidad y la productividad en algunos sistemas (ej., las temperaturas más altas de la primavera pueden extender la temporada de crecimiento, y con la humedad adecuada, aumentar la productividad de los bosques), en general, se espera que la salud del ecosistema disminuya.

Desafortunadamente, incluso si todas las emisiones de gases de efecto invernadero cesaran hoy, la vida útil de estos gases ya emitidos a la atmósfera (durante décadas o siglos) continuaría aumentando las temperaturas durante algunas décadas y los niveles del mar seguirían aumentando durante varios siglos. Además, es poco probable que las emisiones de gases de efecto invernadero terminen pronto. Estos dos factores han llevado a la conclusión de que la adaptación al cambio climático es necesaria.

La adaptación ha sido definida por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) como el “ajuste en los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos reales o previstos a sus efectos, que modera el daño o explota las oportunidades beneficiosas”. Hacer tales ajustes para una adaptación exitosa requerirá una mayor comprensión de transformaciones relacionadas con el clima, la forma en que se manifiestan y de qué manera van a afectar los componentes y procesos de los ecosistemas. También será importante entender cómo pueden ser desarrolladas las acciones de manejo y como pueden ser refinadas y empleadas en el contexto de un sistema de manejo bien desarrollado y flexible con el fin de aumentar nuestra capacidad para hacer

frente al cambio climático y preservar la capacidad de recuperación del ecosistema.

Al hacer inversiones en la adaptación en el presente, los manejadores pueden expandir efectivamente su capacidad de supervivencia en el futuro, dándoles mayor capacidad para acomodarse a una amplia gama de posibles variaciones en el clima futuro (Figura 1, panel c). Un sistema de manejo inflexible que no hace inversiones de adaptación tendrá poca capacidad para proteger los ecosistemas del futuro, la variabilidad del clima y el cambio (Figura 1, panel b). Un concepto clave es que, las propias instituciones, además de tomar las decisiones que contribuyan a la resistencia ecológica, deberán ser más versátiles mediante la adopción de estructuras de manejo flexibles y enfoques que se preparen para las condiciones cambiantes.

Reconociendo la importancia de la adaptación al cambio climático en el manejo de recursos naturales requerirá modificaciones a los planes de manejo y, en algunos casos, el desarrollo de nuevas herramientas de manejo, y mejorara la colaboración a través y entre las instituciones, organismos y grupos de interés.

En esta edición, resumimos factores de estrés importantes relacionados con el clima de la tierra seleccionada y los recursos hídricos y la biodiversidad y también discutimos las opciones de adaptación para el manejo. Se pre-

sentan estudios de casos para demostrar cómo algunos manejadores pueden enfrentarse a los problemas de manejo relacionados con el clima. Revisamos un esquema general que está disponible para que los manejadores utilicen en la planificación de la adaptación, en la que las metas de manejo son el punto de partida para identificar acciones clave que se podrían utilizar para aumentar la resistencia de los ecosistemas frente a las tensiones relacionadas con el clima. La sección final discute las necesidades críticas de investigación y propone recomendaciones sobre cómo se podrían mejorar las estrategias de adaptación y toma de decisiones.

Impactos del cambio climático sobre los recursos naturales y las respuestas de adaptación potenciales

El cambio climático es un fenómeno global que afecta a los ecosistemas de nivel local hasta regional. Incluso puede crear conexiones entre regiones remotas, al afectar el movimiento de organismos, nutrientes y contaminantes, por ejemplo, a través de cambios en la distribución de las especies, cambios en la conectividad de los arroyos y ríos, y por medio de cambios en el transporte atmosférico de nutrientes y contaminantes. Mientras tanto, los manejadores de

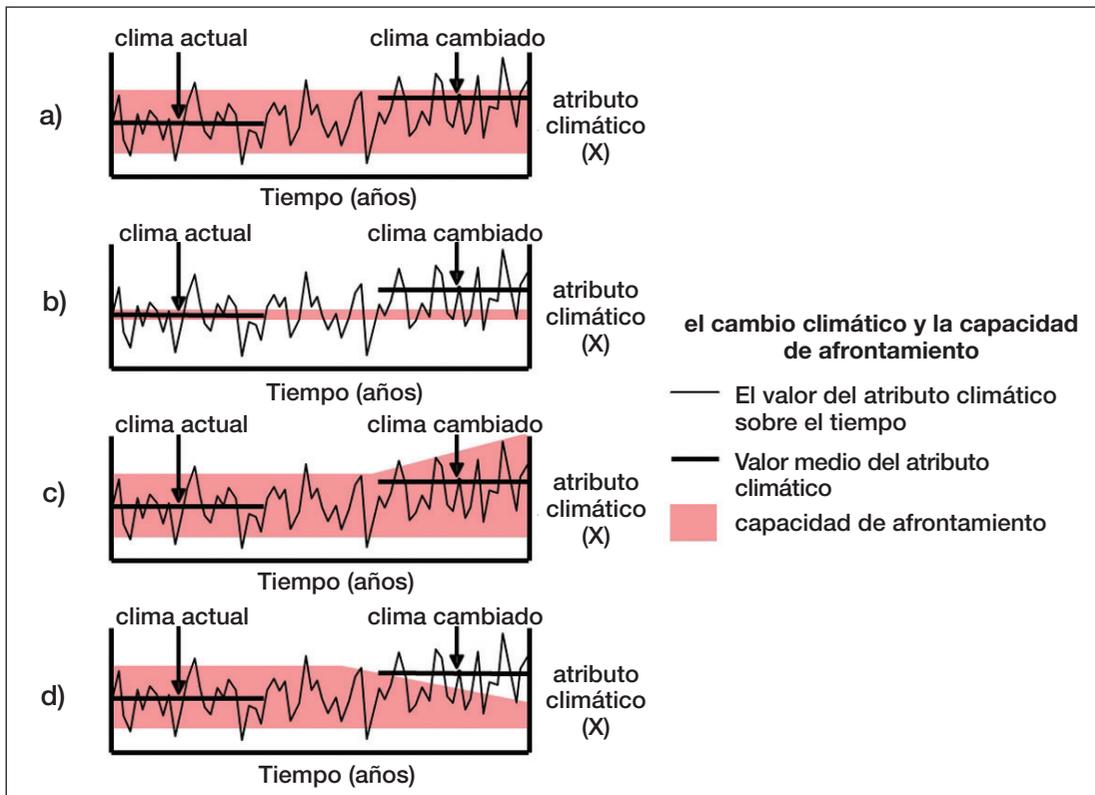


Figura 1. Capacidad de afrontar el cambio climático. a) Un sistema de manejo bien desarrollado y flexible sin ajustar para el cambio climático. b) Un sistema de manejo rígido apenas capaz de proteger los ecosistemas bajo un clima normal, con poca o ninguna capacidad para hacer frente a la variabilidad climática. c) Un aumento en la capacidad de afrontar debido a las inversiones en la adaptación, lo que permite a los administradores hacer frente a los efectos sobre los ecosistemas de la futura variabilidad y el cambio climático. d) La disminución de la capacidad de afrontar cambios climáticos de modo que incluso cambios en el clima dentro del promedio puede causar amenazas. Adaptado de: Grambsch y Menne, 2003.

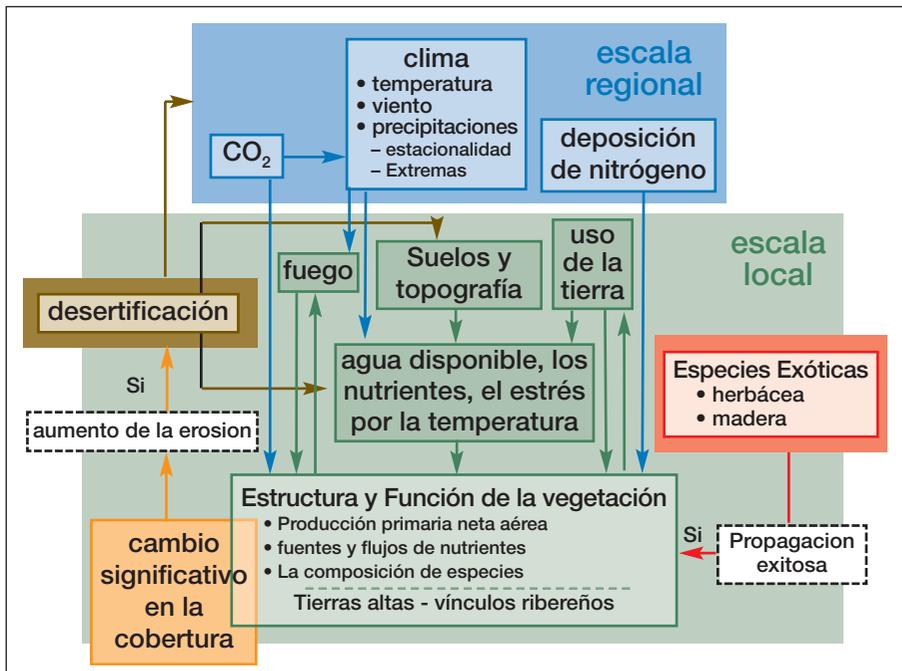


Figura 2. Marco conceptual que ilustra la variedad del clima y evoluciones del cambio climático y los efectos sobre los ecosistemas de tierras áridas a nivel local desde el nivel regional usando el clima y el transporte de nutrientes (caja azul) como los procesos que influyen el nivel local (caja verde). Reproducida de CCSP, 2008a.

recursos trabajan a menudo en escala local con el fin de cumplir con las obligaciones de un sitio específico, como el cumplimiento de los objetivos de reducción de la contaminación o el manejo de las poblaciones de peces, pero también pueden ser afectados (o afectar) por lo que ocurre en los sistemas remotos. Factores de estrés no climáticos naturales y humanos generados complican el problema, ya que actúan por separado y de forma interactiva con los cambios climáticos para alterar los ecosistemas. Entre ellas se encuentran el aumento de los impactos de las especies invasoras, cambios en el ciclo de los nutrientes, como el nitrógeno, fuentes puntuales tanto como la contaminación de fuentes no-puntuales, los incendios forestales, y el uso de la tierra. Minimizar los efectos adversos de los factores de estrés causados por el hombre en los ecosistemas resultará probablemente en un aumento de la capacidad para responder y adaptarse al cambio climático.

En esta sección utilizamos los bosques y los ecosistemas áridos como ejemplos principales de los posibles cambios en los sistemas terrestres y de agua dulce para ilustrar una serie de posibles cambios futuros en los recursos hídricos. También proporcionamos ejemplos de impactos sobre la biodiversidad y exploramos opciones de adaptación para cada una de estas áreas desde la perspectiva de un manejador de recursos. Metas de manejo son el punto de partida para identificar acciones clave que se podrían utilizar para aumentar la resistencia de los ecosistemas frente a los estreses relacionados con el clima.

Recursos de la Tierra: Bosques y Tierras Áridas

Los bosques y las tierras áridas (es decir, los desiertos cálidos subtropicales del suroeste y los desiertos fríos templados de la zona montañosa Oeste) cubren alrededor de 749 millones de hectáreas, la mayoría de las cuales están en el oeste de los EE.UU. Estas cinco grandes áreas de tierras áridas están ubicadas en la Gran Cuenca (Utah y Nevada), la Meseta de Colorado (Utah, Colorado, Arizona y Nuevo México), el Desierto de Mojave (California, Nevada, Utah y Arizona), el Desierto de Sonora (California, Arizona y el norte de México), y el Desierto de Chihuahua (Nuevo México, Texas, Arizona y el norte de México). Estas tierras presentan desafíos únicos e integrados de manejo que son el enfoque de muchas organizaciones no gubernamentales estatales y federales. Cambios en el clima influyen en la productividad de bosques y tierras áridas, la composición de especies, y la frecuencia y magnitud de las perturbaciones, tales como incendios y brotes de plagas (Figura 2). El cambio climático controla la respuesta de ecosistemas áridos a cambios en cobertura. Muchas plantas y animales están cerca de sus límites fisiológicos de temperatura y estrés hídrico en estos ecosistemas, e incluso pequeños cambios en la temperatura o frecuencia e intensidad de eventos previos a la precipitación pueden tener consecuencias significativas para estos organismos. Efectos relacionados con el cambio climático en los ecosistemas forestales y el desierto incluyen:

- Invasión de especies de gramíneas exóticas e incendios forestales más frecuentes en tierras áridas causado por temperaturas altas, aumento de sequía e intensas tormentas eléctricas.
- Mayor susceptibilidad de los bosques de Estados Unidos a perturbación, incluyendo infestación de insectos, especies invasoras, los incendios forestales y daños causados por fenómenos extremos como la sequía.
- Aumento de la mortalidad de los árboles en bosques del oeste de Estados Unidos causado por la combinación de sequía, altas temperaturas, plagas y patógenos (ver Cuadro 1).
- Aumento de la pérdida de carbono a través de la climatización y la erosión en tierras áridas, aunado al cambio de uso de la tierra y la perturbación inducida por el clima (Figura 2).
- Aumento de la fotosíntesis en bosques

Recuadro 1. Brotes de Descortezador

Contexto de la Administración: Desde 1990, los descortezadores nativos han arrasado con árboles a través de millones de hectáreas de bosque, desde Alaska hasta el sur de California y en el este por las montañas. Aunque las infestaciones de descortezadores son un fenómeno natural en los ecosistemas forestales, los brotes actuales, que han tenido lugar simultáneamente en todo el Oeste de los EUA, son la mayor y la más grave hasta ahora registrada. Estos brotes parecen estar relacionados con la combinación de las tendencias de calentamiento recientes asociados con el cambio climático y la edad y condición del bosque. Inviernos cálidos consecutivos en particular, pueden aumentar el tamaño y la severidad de los brotes, ya que la mortalidad inducida por el frío se reduce y alarga la temporada (ver Figura 3). Los cambios en los patrones de precipitación y sequías asociadas también favorecen los brotes de descortezadores, debilitando los árboles y haciéndolos más susceptibles al ataque de descortezadores.

Objetivo de manejo: Manejar los brotes invasivos durante las primeras etapas de la invasión cuando las parches de brotes son pequeñas y tratables.

Estrategias de adaptación: Para hacer frente a los brotes invasores y otras cuestiones ambientales, administradores del Bosque Nacional Olímpico en Olympia, Washington desarrollaron un plan de manejo de tierras que incluye una metodología de Detección Temprana/Respuesta Rápida (EDRR). EDRR permite a los administradores coordinar una respuesta rápida a los eventos extremos, incluyendo los brotes de insectos, con la mirada puesta en las respuestas de manejo que también pueden ser apropiadas para otros tipos de trastornos, tales como los que están relacionados con el cambio climático. El plan incluye acciones tanto para el manejo posterior a la perturbación relacionados con la reconstrucción a corto plazo, por ejemplo, adelgazamiento, así como para la restauración a largo plazo en el marco del cambio climático, por ejemplo, la plantación de variedades de árboles que se adapten a las condiciones climáticas alteradas. Estas grandes perturbaciones de reposición del sistema requieren un plan de acción inmediato, y permiten a los manejadores que influyan en la futura estructura y función de los ecosistemas a través de experimentos de manejo cuidadosamente diseñados para adaptarse al cambio climático.

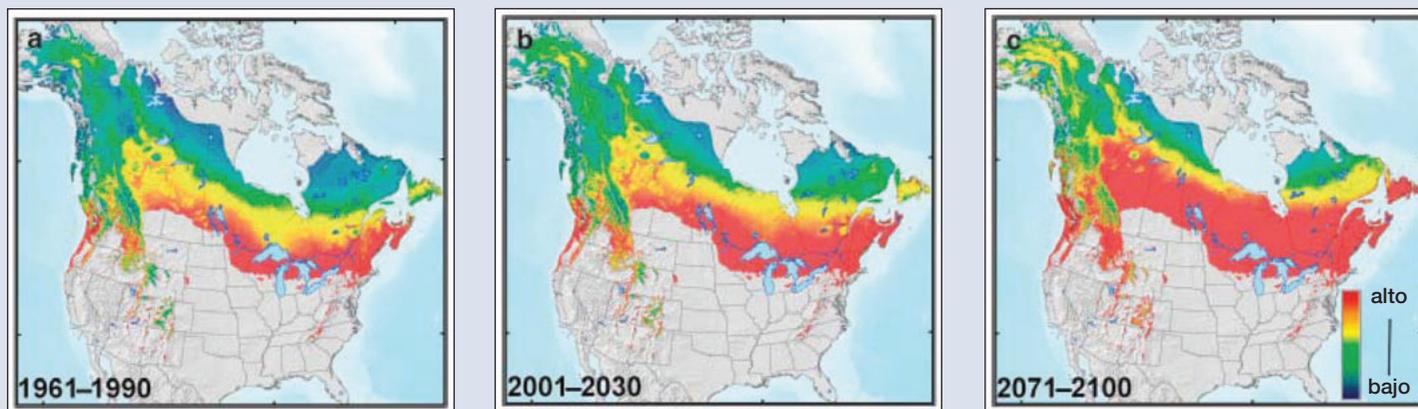


Figura 3. Probabilidad de que la cría del descortezador se desarrolle en un solo año. Paneles a-c muestran las predicciones para encontrar estos insectos en los bosques de abeto a través de América del Norte durante tres períodos: (a) 1961-1990, (b) desde 2001 hasta 2030, y (c) 2071-2100. Mayor probabilidad de un año de duración del ciclo de vida se traduce en una mayor probabilidad de un brote de la población y el aumento en los niveles de mortalidad de los árboles causados por el descortezador. Los resultados del modelo se muestran sólo para las áreas estimadas de ser hábitat de abeto del siglo 20. Fuente: Bentz et al. 2010.

debido a incrementos en los niveles de dióxido de carbono atmosférico (CO_2); bosques jóvenes en tierras fértiles incrementarán la producción de madera.

Reducir el estrés local puede hacer que los recursos de tierras sean más resistentes a los impactos del cambio climático. Ejemplos de acciones pueden incluir: (1) la creación de unidades de manejo más grandes que reduzcan la fragmentación del paisaje y proporcionar corredores de migración y (2) realizar manejo para una gran variedad de especies y genotipos con un rango de tolerancias a baja humedad de suelo y altas temperaturas. Cuando ocurran perturbaciones a gran escala o eventos

extremos, una opción es ayudar a los ajustes en ecosistemas mediante la manipulación de mezclas de especies, incrementando la variación genética, y diversificando estructuras de edad para generar una mayor resistencia del sistema en el futuro.

Recursos Hídricos: Sistemas de agua dulce

Con ambos sistemas naturales altamente dependientes de los recursos hídricos y humanos, incluso pequeños cambios en el clima pueden dar lugar a cambios en la calidad del agua, almacenamiento y flujos biogeoquímicos que afectan significativamente los

Recuadro 2. Calidad del agua en la bahía de Chesapeake

Contexto de la Administración El escurrimiento de desarrollo agrícola y urbano y la descarga de las plantas de tratamiento de aguas residuales se han traducido en niveles elevados de nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales, causando un aumento en el crecimiento de las algas en la cuenca de la Bahía de Chesapeake. En aguas poco profundas, estos organismos privan a las hierbas marinas de la luz solar, lo que limita la sanidad vegetal y en algunos casos, provoca la muerte de las hierbas marinas. Las hierbas marinas proporcionan hábitat para muchas especies acuáticas, como la lubina y cangrejo azul. En aguas profundas, el crecimiento de algas y posterior muerte reducen las concentraciones de oxígeno en las aguas normalmente ricas en oxígeno. En verano, cuando la mezcla entra las aguas superficiales y las de poco oxígeno disminuye, las criaturas que habitan el fondo como las almejas, ostras y gusanos - alimento para los peces y los seres humanos por igual - se ven afectados negativamente. La serie de desafíos relacionados con el cambio climático en los hábitats costeros cercanos incluye aumentos en la temperatura del agua, aumento del nivel del mar, menos hierbas marinas debido a cambios en la temperatura que afecta en donde pueden crecer, más precipitaciones y las zonas muertas más grandes causadas por el agotamiento del oxígeno.

Objetivo: Reunir jefes estatales y federales y accionistas locales para limpiar las severamente degradadas cuencas del ecosistema de Chesapeake Bay en el marco de la Ley de Agua Limpia.

Estrategias de adaptación: Para hacer frente a las cuestiones mencionadas, el Programa de la Bahía de Chesapeake (CBP) se acopla con un amplio espectro de accionistas de Pennsylvania, Virginia, Maryland, Delaware, Nueva York, West Virginia, y el Distrito de Columbia, así como representantes de agencias federales y miembros de organizaciones no gubernamentales. Reunir a un consorcio de intereses aumenta la rendición de cuentas para los esfuerzos relacionados con la restauración de la bahía y una protección continua. Los participantes aprovechan los conocimientos científicos - incluyendo información sobre las interacciones del cambio climático que exacerbaban los estresores existentes - para desarrollar e implementar planes de reducción de la afluencia de los contaminantes y la mejora de los ecosistemas acuáticos de la bahía. Además, el programa ofrece un marco para evaluar el éxito incluyendo la consideración de las necesidades y los deseos de las partes interesadas. Este enfoque y el marco facilitó el desarrollo de una asociación de cooperación sólida basada en la rendición de cuentas. Mientras continúa el crecimiento rápido de la población y el desarrollo urbano está superando la capacidad del CBP para salir adelante del problema, sin el programa y sus participantes, los problemas de la bahía podrían ser mucho más graves. Algunos éxitos reportados en la Bahía Barómetro 2010 incluyen menos nitrógeno y fósforo que entran en arroyos sin marea y ríos, poblaciones estables y abundantes de los cangrejos azules adultos y un retorno de las poblaciones de sábalo en el río Potomac. Durante el mismo período de tiempo, sin embargo, las hierbas de mar submarinas disminuyeron, las aguas de marea que cumplen o superan guías para la claridad del agua disminuyeron, y menos de la mitad de la salud de los ríos se clasificaron como justo, bueno o excelente.

Más recientemente, el Programa de la Bahía se centra en la satisfacción de una bahía por alcanzar metas de TMDL (Máxima Carga Total Diaria), establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los EUA en 2010. Este TMDL establece límites a la contaminación necesaria de nitrógeno, fósforo y sedimentos para conocer la calidad del agua estándares en la bahía y sus ríos de marea. El propósito de la TMDL es asegurar que todas las medidas de control de la contaminación que se necesitan para restaurar completamente la bahía estén en su lugar en 2025 y al menos el 60% de reducción de la contaminación completados en 2017.

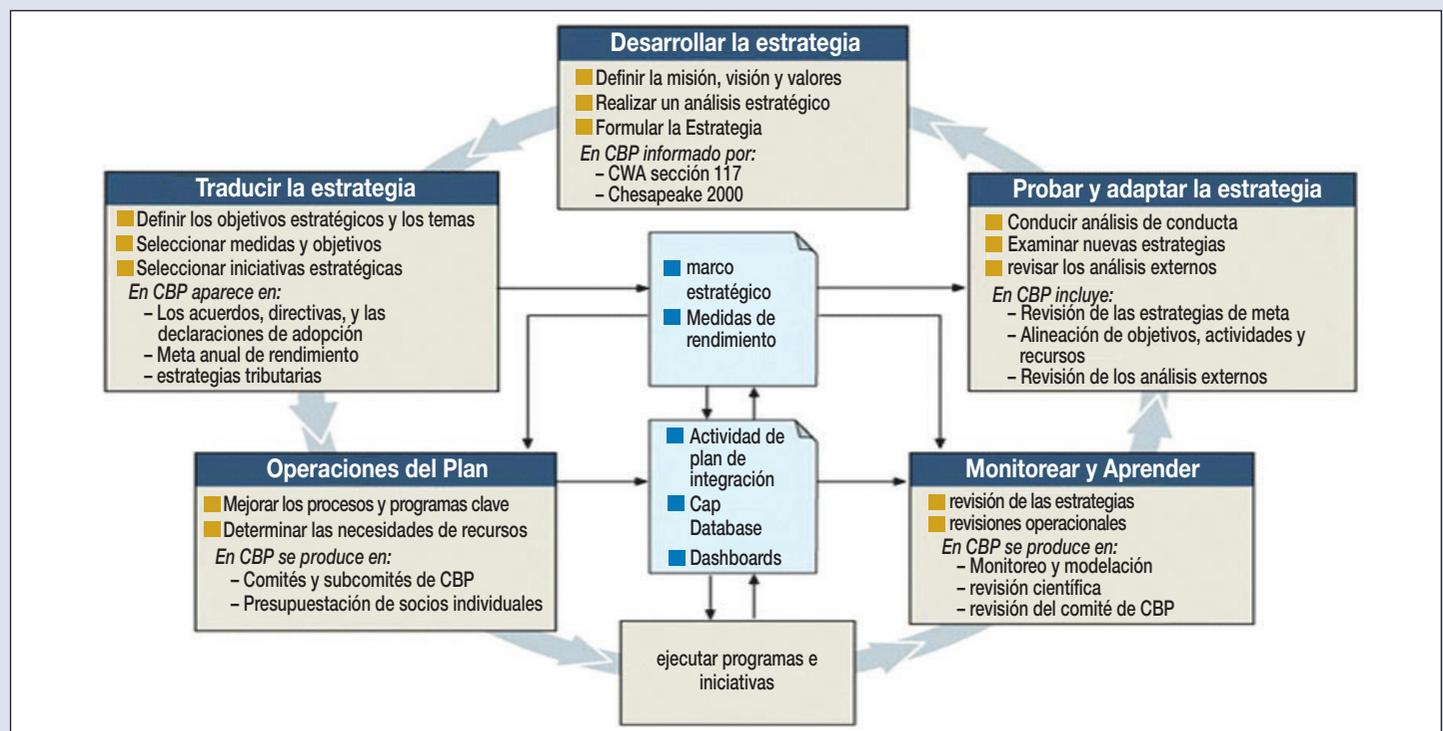
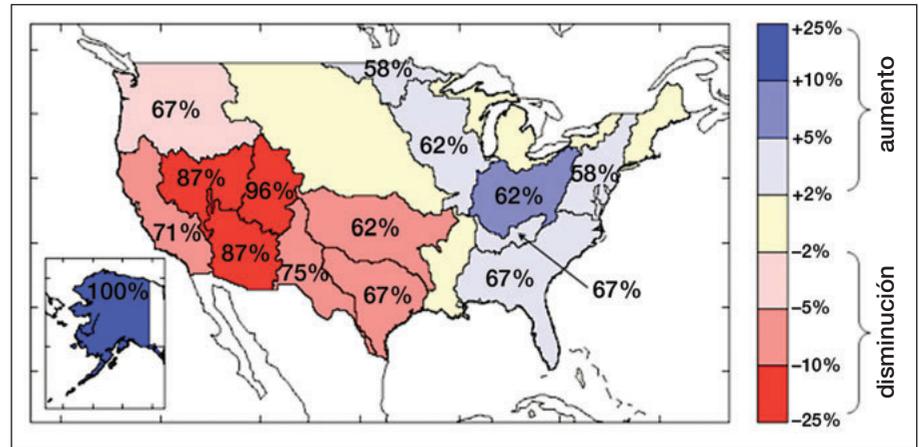


Figura 4. Modelo de Manejo Adaptativo de Chesapeake Bay Manejo. El modelo de proceso de manejo adaptativa (arriba) muestra el ciclo de desarrollo de la estrategia, la planificación, implementación, monitoreo y evaluación aplicada a todos los compartimentos de las actividades del Programa de la Bahía de Chesapeake, lo que permite a la organización adaptarse más ágilmente y cambiar las estrategias en base a la evolución de las opciones y procesos. Fuente: Programa de la Bahía de Chesapeake, cap.chesapeakebay.net/managementmodel.htm.

requerimientos del manejo y planificación del agua. Los planes de manejo de recursos hídricos de Estados Unidos a menudo se basan en suposiciones de condiciones y comportamientos pasados. La planificación de las condiciones futuras requerirá entender que el futuro del clima es, en la actualidad, incierto. Presentamos a continuación una lista de los efectos observados y proyectados relacionados al cambio climático en los recursos hídricos de Estados Unidos.

- La mayor parte de los Estados Unidos observaron aumentos en los promedios de precipitación los caudales y las disminuciones de la sequía durante la segunda mitad del Siglo XX. Estas tendencias probablemente son debidas a una combinación de la variabilidad entre décadas y los cambios climáticos a largo plazo.
- El tiempo de ocurrencia de flujos máximos ha cambiado a lo largo de la región del Oeste en los EE.UU. con un cambio constante hacia el deshielo estacional temprano junto con una reducción de los flujos de verano y otoño.
- Se predicen diferencias regionales en la escorrentía, con un aumento de la escorrentía anual en el Este de los EE.UU., poco o ningún cambio en las cuencas de Missouri y Mississippi y disminuciones sustanciales en el interior del Oeste (Figura 5).
- Se espera que las temperaturas de los ríos aumenten a medida que la temperatura aumente, afectando los ecosistemas y las especies acuáticas, directa e indirectamente.
- Es probable que el calentamiento de aguas superficiales aumente la estratificación de cuerpos de agua, causando disminución de las concentraciones de oxígeno en aguas profundas y la disminución de la calidad del hábitat (Cuadro 2).
- Se espera un aumento en las emisiones de carbono y nitrógeno de cuencas, debido a que la climatización aumenta con la interacción entre el uso de la tierra y la mayor frecuencia de eventos extremos como inundaciones y sequías (Cuadro 2).

Para lidiar con los posibles impactos ambientales de los cambios en calidad y disponibilidad del agua, las opciones incluyen el uso de variedades de plantas resistentes a la sequía para mantener zonas de amortiguación riparias, la creación de humedales o sistemas de almacenamiento fuera del canal para reducir la erosión durante los períodos de alto



flujo, comprar o arrendar los derechos de agua para mejorar opciones de manejo, almacenamiento y el manejo de retiros para suavizar el suministro de agua durante el año, y el desarrollo de infraestructura efectiva de aguas pluviales que disminuya la erosión severa. Otras estrategias que mejoran la capacidad de recuperación de especies acuáticas incluyen el aumento de la heterogeneidad del hábitat físico de los canales para apoyar diversos ensamblajes bióticos y la realización de la restauración fluvial para estabilizar los bancos de erosión y reparación del hábitat en la corriente.

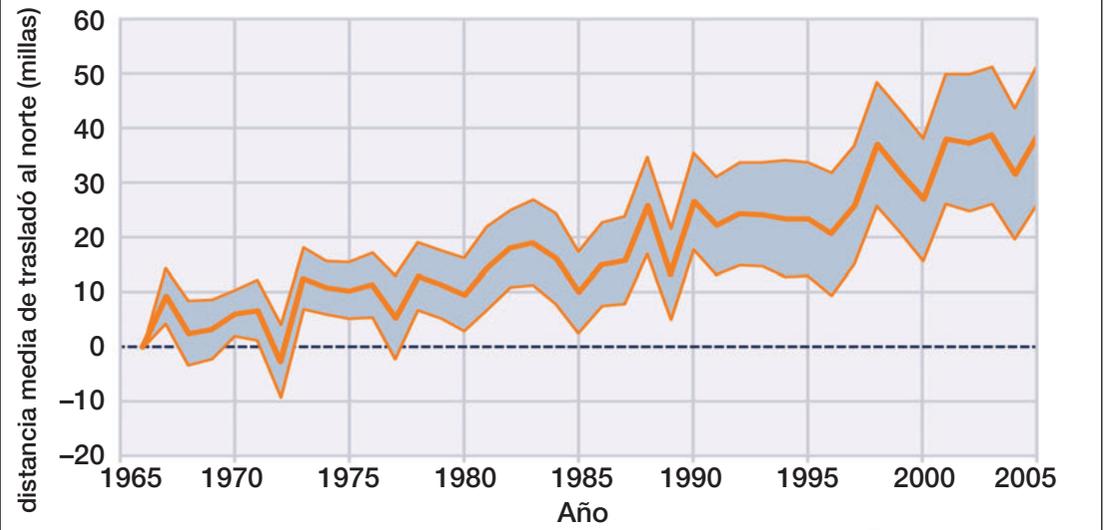
Biodiversidad

Una vez reducida o perdida, la biodiversidad es difícil si no imposible de restaurar o reemplazar. Aunque el impacto del cambio climático sobre la diversidad de especies está actualmente superado por otros controladores más importantes, como el uso de la tierra, es probable que sea cada vez más importante en las próximas décadas. En la actualidad, los cambios en el sistema climático están afectando a los procesos que controlan diferentes aspectos de la biodiversidad, tales como los procesos fisiológicos que controlan las poblaciones donde pueden prosperar - que a su vez determinan los rangos de plantas y animales. Los principales efectos del cambio climático sobre los aspectos de la biodiversidad en Estados Unidos se señalan a continuación.

- Los patrones de los eventos del ciclo de vida de algunas plantas se han visto afectadas por inviernos cortos y más suaves, los deshielos de primavera anticipados y con algunas especies de plantas que florecen en torno a uno o dos días antes por década en el hemisferio norte.
- La distribución de las especies ha cambiado a lo largo de las últimas décadas, las plantas

Figura 5. Cambios en medianas de escorrentía interpoladas con regiones de los recursos hídricos del USGS de Milly et al. (2005). Incluye 24 simulaciones de los modelos generales de circulación para 2041-2060 con respecto a 1901-1970. Los números en el mapa muestran el porcentaje de las 24 simulaciones para las que el cambio en la escorrentía tuvo el mismo signo que la mediana de 24 simulaciones. Los colores en el mapa muestran la magnitud media de cambio en la escorrentía de escorrentía histórica para esa región. Fuente: CCSP, 2008a.

Figura 6. Variación anual de la latitud del centro de la abundancia de 305 especies de aves a través de América del Norte, 1966-2005. La franja sombreada muestra el rango probable de valores, basado en el número de mediciones recogidas y la precisión de los métodos utilizados. Referencia de la Figura: EPA. Bird Wintering Ranges. <http://epa.gov/climatechange/science/indicators/society-eco/bird-ranges.html>. Fuente de datos: National Audubon Society. 2009. Northward shifts in the abundance of North American birds in early winter: A response to warmer winter temperatures? Disponible por internet: www.audobon.org/bird/bacc/techreport.html.



y los animales se mueven a elevaciones y latitudes más altas con tasas medias de 36 pies por década y 10.5 millas por década, respectivamente (Figura 6). Se espera que los mayores cambios se produzcan en el futuro.

- En las latitudes más altas, donde los aumentos de temperatura son relativamente grandes, la evidencia indica un alargamiento importante de la temporada de crecimiento y aumento de la productividad primaria neta, hecho que se correlaciona con una mayor biodiversidad.

- Se prevé que la calidad del agua disminuya debido a los aumentos de temperatura, una mayor cantidad de exportación de nutrientes (debido al aumento de las precipitaciones), y el aumento de la acidificación, lo que resulta en una variedad de cambios en los ecosistemas acuáticos, incluyendo la pérdida de especies potenciales (Cuadro 3).
- Los corales tropicales y subtropicales en las aguas poco profundas han sufrido ya mortalidad masiva causada por eventos de blanqueamiento inducidos por la temperatura

Table 1. Formas de adaptación y opciones de ejemplo de gestión para hacer frente a los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas. Ver CCSP 2008b para más ejemplos.

Formas de adaptación	Ejemplos de las opciones de adaptación específicas
Reducir las tensiones antropogénicas locales	Reducir la sobrepesca o corregir la hidrología alterada para restaurar la capacidad de las especies o ecosistemas para resistir un evento climático estresante.
Proteger características claves de los ecosistemas para la resistencia del sistema	Proteger la complejidad de las características del paisaje con el fin de preservar las zonas de amortiguamiento críticos y corredores migratorios.
Proteger a diversos hábitats y comunidades biológicas	Aumentar la diversidad genética en los sistemas fluviales y mantener la complejidad del hábitat para proteger las fuentes de recuperación sin tener en cuenta el cambio climático
Garantizar la redundancia para la protección de los tipos de ecosistemas o especies	Proteger a los tipos de ecosistemas redundantes, tales como sabanas de ciprés, para reducir el riesgo de que una perturbación (por ejemplo, incendios forestales) provocará la extinción global de especies
Restaurar los ecosistemas en peligro o perdidos	Restaurar marismas, praderas de pastos marinos y los manglares, ya que juntos estos estabilizan la función del estuario proporcionando diversa estructura de la vegetación
Identificar los refugios de los ecosistemas	Proteger los arrecifes de coral en el lado sombreado de las islas o cerca de las zonas de surgencia para utilizar protección natural del calor y de la luz durante los eventos de blanqueamiento.
Reubicar a los organismos a nuevos hábitats	Transportar poblaciones de peces con bajas tolerancias térmicas a tramos fluviales mas frescos del río (por ejemplo, en las zonas altas o en sistemas alimentados por aguas subterráneas).

(Cuadro 3) y también se enfrentan a un problema creciente de las tasas de calcificación inhibidos debido a la creciente acidificación de los océanos (un resultado directo del aumento en los niveles de dióxido de carbono atmosférico).

Una de las opciones más eficaces para aumentar la capacidad de adaptación de las especies y los ecosistemas al cambio climático es la reducción de otras fuentes humanas de estrés, como las presiones de desarrollo que aumentan la fragmentación de los hábitats, actividades que aumentan los contaminantes, nutri-

entes, y las cargas de sedimentos, la introducción de especies invasoras que compiten y ganan contra las especies nativas, la pesca excesiva, u otras actividades que agotan los recursos o especies escasos o sensibles. Otras opciones que se ocupan más directamente de impactos del cambio climático se centran en la identificación y protección de las áreas que parezcan ser resistentes a los efectos del cambio climático, que se recuperen bien de las perturbaciones inducidas por el clima, de importancia ecológica (como las zonas de cría, zonas de desove y áreas de alta diversidad de especies), o que tengan una amplitud de

Recuadro 3. Biodiversidad en el Florida Keys National Marine Sanctuary

Contexto de la Administración: el Congreso estableció el Florida Keys National Marine Sanctuary en noviembre de 1990 para proteger la valiosa y única biodiversidad de la región. Crecientes amenazas a los ecosistemas de arrecifes de coral de los Keys impulsaron esta designación. Los problemas ambientales como el deterioro de la calidad del agua se han visto agravados por el cambio climático, al igual que los eventos de blanqueamiento de corales inducidos por la temperatura y los brotes de enfermedades (Figura 7). Las especies de coral, las comunidades y localidades son diferencialmente afectadas por estos impactos, con consecuencias para la biodiversidad a escala local y regional.

Objetivo: Mantener la integridad química, física y biológica del santuario, incluyendo la restauración y el mantenimiento de una población indígena equilibrada de los corales.

Las estrategias de adaptación: Las acciones de manejo para reducir los factores de estrés antropogénicos, como la contaminación y la pesca excesiva también pueden aumentar la capacidad de recuperación de coral. Por ejemplo, las zonas de no-tomar han demostrado mejorar las poblaciones fuertemente explotadas y esto, a su vez, apoya la capacidad de recuperación a través del re-establecimiento de depredadores importantes. Mientras tanto, los esfuerzos de vigilancia e investigación están en marcha para identificar los sitios de blanqueo resistentes que pueden ser objeto de protección como refugio y como fuente de larvas para la recuperación. Mirando hacia el futuro, otra estrategia es identificar y proteger los sitios donde los arrecifes de coral florecieron al norte de su distribución actual en periodos geológicos pasados. Estos lugares podrían ser utilizados como sitios de destino de las migraciones que se mueven al norte como el cambio climático continúe en las próximas décadas. Por último, la restauración de los sistemas adyacentes, tales como los manglares, no sólo sirven de hábitat y protección para la costa, sino también son una fuente de compuestos orgánicos disueltos que han demostrado proteger contra el estrés foto-oxidativo en los corales.

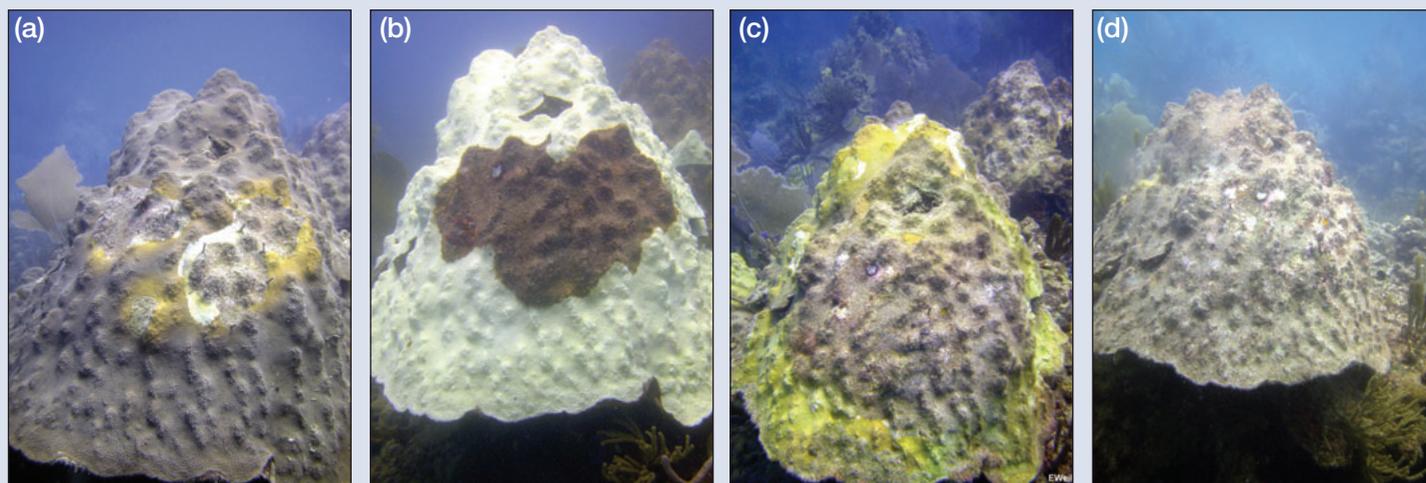


Figura 7. Efectos combinados de las enfermedades y blanqueamiento debido al aumento de la temperatura del agua. Este coral estrella de 500 años en la costa suroeste de Puerto Rico ilustra el efecto del aumento de la temperatura del agua. Una infección inicial de la enfermedad exacerbada por el calentamiento de las aguas (a) fue seguido por tales altas temperaturas que se produjo el blanqueamiento (pérdida de simbiótica microalgas desde el coral) (b), seguido por más de la enfermedad (c) que finalmente mataron a la colonia (d). Referencia: USGCRP, en prensa. Crédito de la foto: Ernesto Weil, de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez.



Figura 8. Marco para el desarrollo de estrategias de adaptación al cambio climático. Fuente: Glick et al. 2011.

tipos de hábitats que maximicen la heterogeneidad del hábitat.

Planeación adaptativa

En las secciones anteriores hemos presentado algunos ejemplos de cómo los manejadores han respondido hasta el momento a los impactos relacionados con el cambio climático en sistemas sensibles. Basado en ellos y al número creciente de otras estrategias, la comunidad de adaptación ha desarrollado un conjunto de principios de planeación adaptativa que pueden ser organizados dentro de un marco. En esta sección discutimos un marco generalizado para la planificación de adaptación sistemática, seguido de una discusión respecto a la forma de acomodar la incertidumbre que suele acompañar a los procesos de planificación.

Ejemplo de estructura para la planeación de adaptación

Una serie de marcos se han desarrollado para lidiar con la necesidad de incorporar sistemáticamente la adaptación al cambio climático en los procesos de planeación. La mayor parte de estos marcos tienen pasos similares. Presentamos a continuación tal marco representativo en la Figura 8 y lo discutimos.

Paso 1 – Identificar los objetivos de manejo (Figura 8) en función del objetivo de conservación general. Dado que los efectos del cambio climático sobre ecosistemas y recursos naturales variarán de un sitio a otro y las respuestas de adaptación tendrán que ser adaptadas individualmente a los lugares de implementación, comenzar con metas y objetivos

establecidos colocando los objetivos de interés en el centro del análisis y evaluación con el fin de desarrollar planes de adaptación que mantengan las metas deseadas. Las metas de conservación pueden ser seleccionadas a niveles de múltiple funciones ecológicas, incluyendo especies, hábitats, ecosistemas o redes de áreas protegidas.

Paso 2 – Evaluar las vulnerabilidades de los objetivos de conservación para el cambio climático. Esto incluye el desarrollo de parámetros del problema relevantes para los objetivos de interés, creando modelos conceptuales que vinculen agentes con puntos finales (metas) para capturar los principales procesos que necesitan ser evaluados, elegir métodos/modelos de análisis basados en los procesos identificados, recopilación de datos disponibles, y evaluar lo que se sabe sobre cambio climático y procesos ecológicos para evaluar los impactos y la vulnerabilidad. Una vez que la vulnerabilidad al cambio climático de una especie o un sistema son mejor entendidos en un sentido cualitativo o cuantitativo, las opciones de manejo que aborden la nueva información pueden ser evaluadas.

Paso 3 – Identificar las opciones de manejo. Estos pueden clasificarse en siete enfoques de adaptación para manejar en base a la resistencia (Cuadro 1). Para cada uno de estos enfoques hay muchas opciones de manejo específicas que pueden ser consideradas, proporcionamos algunos ejemplos ilustrativos en la Tabla 1. Nótese que distintas opciones pueden usar diferentes técnicas y/o centrarse en diferentes tipos de ecosistemas o elementos, pero en todos los casos su finalidad es hacer frente a uno o más de los tres componentes fundamentales de la vulnerabilidad al cambio climático: sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación (Figura 8). Al implementar estas opciones, no es suficiente emplear las mejores prácticas, más bien, su aplicación debe ser considerada a través del “lente climático.” Los manejadores tienen que examinar cómo el momento, lugar y aplicación de prácticas puedan ajustarse para incluir el cambio climático con el fin de lograr el resultado deseado. Además, deben explorar cómo la eficacia de estas prácticas podría verse afectada por el cambio climático y si las diferencias en la eficacia pueden afectar la priorización de ciertas prácticas u opciones sobre otras.

Paso 4 – Implementar opciones de manejo. La

aplicación puede verse limitada por las políticas o las creencias y los comportamientos culturales e institucionales. La implementación exitosa depende del uso creativo de las políticas, las prácticas y los cambios institucionales para empoderar a la acción.

El círculo central de la Figura 8 representa la naturaleza cíclica de la planificación de adaptación a través de un proceso iterativo de vigilancia, examen y revisión del plan de adaptación. El monitoreo es necesario para seguir los cambios continuos en ecosistemas y para medir si se alcanzó el resultado deseado. Se recomienda periódicamente visitar planes de manejo existentes, para incorporar conocimiento o necesidades recién adquiridas, y para hacer ajustes en respuesta a resultados esperados ya sea positivos o negativos. Repaso y revisión pueden ser repetidos en cada paso con el fin de mantener el ritmo de las condiciones ecológicas cambiantes, objetivos de manejo, vulnerabilidades, y otra nueva información científica de manejo. En algunos casos, una revisión completa de los objetivos de manejo puede ser necesaria cuando el objetivo de mantener los ecosistemas, los recursos o la composición de especies en estado estático ya no son factibles.

Lidiando con incertidumbre

Al evaluar la vulnerabilidad y la planificación de las respuestas de adaptación, puede ser difícil para manejadores de recursos saber como caracterizar los rangos de incertidumbre en los impactos del cambio climático y como traducir estas incertidumbres en acciones prácticas de manejo. Afortunadamente, herramientas que pueden ayudar con tales tareas se están desarrollando y probando. Una de estas herramientas es la planificación de escenarios, la cual facilita la exploración de la amplitud de los impactos previstos y las respuestas potenciales. La planificación de escenarios se puede hacer de varias maneras. Una manera es realizar un análisis de sensibilidad de objetivos clave de manejo a un amplio rango de escenarios climáticos utilizando cambios especificados realistas en agentes del clima, tales como cambios incrementales en temperatura o precipitación, a través de una gama más amplia de cambios. Los resultados pueden ser utilizados en el proceso de planificación para identificar como potenciales a adaptación, a aquellos procesos que son más sensibles al cambio climático. Otro método consiste en utilizar

modelos específicos o escenarios basados en el clima para determinar futuros alternativos y plausibles como puntos en una gama de condiciones futuras. Debido a la incertidumbre del modelo y del sistema, no hay un modelo que puede proporcionar una "predicción" certera; por el contrario, capturando una amplitud de resultados realistas, se pueden seleccionar respuestas de adaptación potenciales que sean eficaces en una amplia gama de posibles escenarios climáticos. Estos enfoques proporcionan medios para identificar los puntos más vulnerables y permitir la selección de unos enfoques de adaptación específicos y robustos. Estos enfoques son similares a las tolerancias de ingeniería que se desarrollan para garantizar el correcto y seguro funcionamiento de los equipos o procesos en una amplia e incierta gama de condiciones probables, propiedades, imperfecciones, o estreses.

Dos ejemplos donde se han aplicado métodos de incertidumbre son: (1) en Columbia Británica, a las decisiones relacionadas con el manejo del Escarabajo Descortezador de Montaña; y (2) en el Distrito Metropolitano de Agua del Sur de California, a decisiones relacionadas con el cumplimiento de las demandas de agua bajo una variedad de condiciones hidrológicas futuras inducidas por el cambio climático. En el primer ejemplo, las metas y los objetivos de manejo se establecieron para los bosques de Columbia Británica para el corto y largo plazo a la luz de posibles infestaciones de plagas y daños a corto y largo plazo. Se analizaron una serie de escenarios de cambio climático y manejo de la tierra y los resultados se evaluaron de acuerdo a la madera deseada; valores económicos maderables, valores no maderables, el nivel de riesgo de incendio y resistencia ecológica. Las estrategias seleccionadas fueron aquellas que, a pesar de ser más costosas aseguraron el alcance de las metas deseadas en los escenarios climáticos, permitieron flexibilidad en su implementación y proveyeron beneficios a largo plazo. En el segundo ejemplo, la Corporación del Distrito Metropolitano y RAND trabajaron en conjunto para ejecutar cientos de escenarios de cambios de temperatura y precipitación, cambios demográficos, la condición de los rendimientos del Delta de la Bahía de San Francisco usando recursos locales, y el tiempo de implementación de acciones articuladas en el Plan Integrado de los Recursos del Distrito Metropolitano. El análisis ayudó a identificar las vulnerabilidades clave del Distrito Metropolitano al cambio

climático y otras incertidumbres futuras, y les proveyó de marcadores de monitoreo que proveerán alertas tempranas que indicarán si las acciones de manejo no lograrán cumplir las metas establecidas. Estos marcadores permitirán al Distrito Metropolitano el plazo necesario para adaptar sus planes y acciones como correspondan.

Otros enfoques también están disponibles para manejar la incertidumbre en los procesos de manejo y de planificación. Los cuales incluyen:

- *Toma de decisiones estructurada*, un proceso que comienza con la elaboración del problema, después logra objetivos, desarrolla alternativas, evalúa las consecuencias de las alternativas en relación con los objetivos, e identifica las acciones preferidas haciendo uso de herramientas analíticas.
- *Manejo Adaptativo*, un enfoque utilizado cuando una decisión es recurrente, cuando la incertidumbre importa en función de decisión a tomar y cuando el monitoreo puede dar información para discriminar hipótesis alternas o modelos alternativos con el fin de ajustar estrategias de manejo en respuesta a lo que se aprende;
- *Toma de decisiones robusta*, un enfoque que utiliza robustez en lugar de optimización como criterio principal para la evaluación al identificar decisiones que maximicen la probabilidad de algún resultado aceptable en una amplia gama de escenarios; y por ultima,
- *Consulta a expertos*, un proceso sistemático para la obtención de juicios de expertos para caracterizar incertidumbre y llenar los vacíos de datos donde la investigación científica tradicional no es viable o los datos adecuados no están aún disponibles. Útil en situaciones en donde las incertidumbres son grandes y más de un modelo explica los datos disponibles y se requieren juicios técnicos para evaluar las hipótesis.

Todos estos enfoques están siendo probados y aplicados en los procesos de planificación para la adaptación al cambio climático y vale la pena explorarlos para entender cuáles son los más apropiados para diversos contextos específicos de manejo.

Planificar adecuadamente para efectos del cambio climático también requerirá la transición del “manejo para resistencia” al “manejo para cambio” en momentos apropiados. En otras palabras, cuando un sistema es presion-

ado más allá de los límites de su resistencia de tal manera que ya no sea posible el estado de mantenimiento del ecosistema o logro de metas predefinidas, tales metas pueden ser ajustadas para manejar las transiciones hacia nuevos estados de ecosistemas. Por ejemplo, en un caso donde las metas de manejo están enfocadas en poblaciones de especies de peces de agua fría, pero las temperaturas de los ríos exceden sus tolerancias térmicas, tales metas tendrán que ser ajustadas para enfocarse en especies de agua tibia. Muchas de las herramientas mencionadas en esta sección que proveen un rango de alternativas futuras probables pueden ser usadas para explorar nuevos estados de ecosistemas y las respuestas potenciales de manejo que permitan suavizar transiciones hacia estados más favorables que puedan ocurrir sin manejo. La importancia potencial de cambiar los objetivos de manejo y/o las estrategias, resalta la importancia de monitorear, repetir y revisar los planes de adaptación a cada paso del desarrollo e implementación del plan, como se indica en el centro de la Figura 8.

Avanzando la capacidad de la Nación para adaptarse al cambio climático

Es cierto que el cambio climático no dejará sistema sin afectar, pero es altamente incierto como se manifestarán tales efectos. Por lo tanto, es imperativo que mejoremos nuestro conocimiento, herramientas, y capacidades para responder en una manera adaptativa a futuros cambios climáticos. Algunas áreas para mejorar incluyen: (1) sistemas para detectar y monitorear la efectividad de las opciones de manejo, (2) mecanismos para incrementar la flexibilidad y cooperación institucionales para permitir ajustes más rápidos de manejo en escala y aplicación, y (3) apoyo para la mejora continua de prácticas, planeación e implementación. Estas necesidades son discutidas en mayor detalle en la siguiente sección.

Monitoreo de sistemas

La observación de condiciones y tendencias en sistemas ecológicos son esenciales para detectar y determinar respuestas al cambio climático; sin embargo, debido a que el monitoreo del suelo, agua y biodiversidad fueron diseñados originalmente para otros objetivos, su uso para cuantificar los efectos del cambio climático son a menudo limitados. Por ejem-

plo, programas estatales de bioevaluación han sido establecidos para determinar el estado y salud de ecosistemas acuáticos, usando resultados de monitoreo para comprar sitios de alta calidad (o menos afectados) con otros sitios para detectar daños. Estos programas han mostrado ser inadecuados en detectar impactos de cambio climático porque están diseñados para detectar diferencias entre poblaciones de ríos, en vez de detectar cambios graduales o a largo plazo en toda la población. Mientras tanto, observaciones climáticas son monitoreadas independientemente del monitoreo de recursos naturales y las observaciones a menudo no están asociadas, or lo cual resulta necesario interpolar o reducir la escala de la información climática para uso en estudios ecológicos. Como ejemplo, dos tipos de sistemas de observación son usados generalmente para proveer datos de diversidad biológica; sistemas de observación específicos de especies o ecosistemas (tal como el Programa de Investigación Ecológica de Largo Plazo de la Fundación Nacional de Ciencia que ha establecido sitios de monitoreo dentro de ecosistemas específicos como pastizales, desiertos, y bosque) y observaciones espacialmente extensivas derivadas de datos tomados remotamente (tal como el Espectro radiómetro de Imágenes de Resolución Moderada "MODIS" de la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio, que colecta datos de dinámicas globales y procesos que ocurren en la tierra, los océanos y la atmósfera baja). Mientras que múltiples sistemas de ambos tipos existe, su cobertura no ha sido comprensible en espacio y tiempo ni especies/ecosistemas. Por lo tanto, la capacidad de mantener y expandir estos sistemas de monitoreo hacia el futuro no está asegurada. Los datos continuos a largo plazo se necesitan para entender la respuesta de los ecosistemas al cambio climático.

Además de detectar cambio, el monitoreo también es necesario para el planeo y manejo de adaptación. Disponibilidad de datos medioambientales específicos de algún sistema de manera pronta ayuda al proceso en curso que es el manejo adaptativo, ilustrando a los tomadores de decisiones acerca de las respuestas de los ecosistemas y sus componentes a acciones de manejo y permitiendo ajustes a tales acciones como sea necesario. Observando sistemas diseñados para detectar cambios relacionados al clima cambia la evaluación del manejo de apoyo en sistemas sensibles claves (o, como se ve en el Recuadro 3, evaluación

de las áreas menos sensibles, i.e., más resistentes). También pueden ser usadas para medir la eficacia de las acciones de manejo detectando, por ejemplo, si la sensibilidad relacionada con el clima se reduce después de la implementación de estrategias de adaptación (ej., como lo indica en el paso "monitorear y aprender" en el Recuadro 2). Programas observacionales que mejoren este tipo de monitoreo pueden ser llevados a cabo a través de la combinación de la revisión exhaustiva y el ajuste de sistemas existentes y creando nuevos sistemas para capturar efectivamente y con precisión fenómenos que afectan ecosistemas relacionados al clima. Observaciones más detalladas a escalas locales pueden detectar mejor los cambios sutiles y podrían fomentar entendimiento básico de salud de ecosistemas, así como mejorar perspectivas y capacidades de manejo. Observaciones estándares a lo largo de grandes áreas complementarían estas observaciones detalladas y proporcionarían un mejor conocimiento de las tendencias a gran escala, la información sobre los procesos espaciales tales como el movimiento de las especies invasivas y conocimientos sobre los procesos a macro escala como redistribución de nutrientes a través de los sistemas. Se están realizando esfuerzos en el Programa de Investigación del Cambio Global de los EUA para inventariar redes de control y evaluar la viabilidad de adaptar estas redes para detectar respuestas del sistema a cambio climático.

Flexibilidad Institucional y Cooperación

Además de sistemas efectivos de observación, los administradores necesitan que sus respectivas instituciones apoyen la flexibilidad individual y la cooperación, y que sean en si flexibles y dinámicos. Estrategias de adaptación y mitigación de los Ecosistemas proporcionan el máximo beneficio cuando los administradores y las instituciones coordinan diferentes actividades para hacer frente a los impactos simultáneamente, incluyendo los impactos del clima (ver Recuadro 1). Además de la rigidez institucional, otro obstáculo para el manejo eficaz puede surgir de los sistemas de incentivos que recompensen el status quo y desalienten las ideas creativas, inhibiendo el desarrollo de respuestas innovadoras. Obstáculos organizacionales que retrasan o impiden la ejecución de las acciones de adaptación pueden poner en riesgo valiosos

recursos ecológicos, descartar acciones que requieren plazos prolongados para su aplicación y potencialmente, desencadenar acciones regulatorias para remediar la falta de acción.

Muchas de estas limitaciones pueden ser superadas, por ejemplo, con la creación de incentivos que recompensen las ideas innovadoras, la creación de guías para los gerentes que propongan estrategias para adaptación al cambio climático y el establecimiento de prioridades de alto nivel, las políticas y los procedimientos de planificación que fomenten estrategias a nivel local y acciones de manejo. Fortalecer la cooperación interna y externa y las relaciones interinstitucionales también es crucial, ya que la capacidad de los administradores para preservar ecosistemas valiosos y sus servicios en el futuro puede depender en última instancia de la flexibilidad en cuanto a la fijación de prioridades, el manejo del cambio y el manejo de forma simultánea en diferentes escalas espaciales y temporales. Por ejemplo, mientras las temperaturas suben y los impactos climáticos se vuelven más graves y potencialmente irreversibles, los administradores pueden volver a examinar las prioridades y pasar a las opciones de adaptación que incorporen información recientemente adquirida y proyectar cambios en los ecosistemas aumentando su capacidad para lograr los objetivos de manejo de ecosistemas.

La expansión de la colaboración interinstitucional, la integración y el intercambio de lecciones para apoyar la toma flexible de decisiones y respuestas ágiles de manejo es más importante que nunca. Afortunadamente, los EUA tienen antecedentes de lograr respuestas poderosas durante crisis y desafíos nacionales. El ejecutivo y líderes del Congreso de la Nación han ordenado una nueva colaboración entre los organismos, extendieron la autoridad existente para la acción y, con éxito, alentaron que la innovación pueda hacer frente a impactos del cambio climático. Por ejemplo, el Servicio de Pesca y Fauna Silvestre de los EUA alberga 22 Cooperativas de Conservación de Paisajes (LCC) que participa con los estados, tribus, agencias federales, organizaciones no gubernamentales, universidades y otros grupos para desarrollar los conocimientos de ciencia y técnica para apoyar el plan de conservación a escala de paisaje y para promover la colaboración en la definición y realización de los objetivos de conservación. Tales respuestas de colaboración permitirán a los administradores abordar temas

que se extiendan más allá de un solo hábitat, área de conservación, o la unidad política/administrativa y más allá de los mecanismos de respuesta tradicional de agencia por agencia.

Necesidad de Evaluación Continua

La evaluación continua de los impactos, métodos de adaptación y respuesta de los ecosistemas es esencial para una mejora continua en la planificación y el manejo de adaptación para cumplir los objetivos de conservación. Prácticas de manejo existentes no abordan adecuadamente las futuras respuestas esperadas del ecosistema ya que la velocidad, el tipo, dirección y el alcance de los cambios son muy inciertos. A través de un proceso de evaluación expandida, en contraste con las evaluaciones centralizadas y periódicas, nuevas observaciones y conclusiones de la investigación se pueden incorporar rápidamente para ajustar las estrategias de manejo existentes, frente a las amenazas imprevistas y mejorar las proyecciones de las respuestas futuras del ecosistema.

Para que este tipo de evaluaciones pueda producir información útil, los modelos tendrán que ser refinados, las redes y capacidades de experimentación y de observación tendrán que ser ampliadas. Con el establecimiento de un sistema de evaluación distribuida - una red de experimentados científicos, manejadores y responsables de decisión del todo el país participaran en interacciones sostenidas y de largo plazo - la integración de los resultados de todas las fuentes pueden aparecer para informar a las agendas de investigación y toma de decisiones.

La consideración e incorporación de los resultados de las evaluaciones en curso en los procesos de planificación de la adaptación pueden requerir también evaluaciones en curso de las misiones de la organización y los planes estratégicos. Por ejemplo, los cambios proyectados en la dinámica del ecosistema puede alterar la actual asignación "óptima" de recursos de planes estratégicos existentes. Algunos sistemas administrados por el gobierno federal permiten ya que los planes estratégicos cambien al considerar nueva información científica. Por ejemplo, las reglas del Servicio de Parques Nacionales (NPS) han proporcionado históricamente flexibilidad con respecto a la política de interpretación que ha permitido avances en el conocimiento ecológico a ser incorporados en las reglas de manejo. Durante más de 100 años, el NPS ha

cambiado algunas de las prácticas basadas en este conocimiento mejorado. Una de esas prácticas, el manejo de la vida silvestre (e.g., el sacrificio de especies) ha evolucionado con el tiempo sobre la base de la consideración de nueva información científica, por lo que algunos directores de parques opten por dejar que las cifras de población se controlen por los procesos naturales. Del mismo modo, donde supresión activa con fuego era la norma en el Servicio Forestal, la consideración de nuevos resultados científicos llevó a un cambio de la práctica actual de las quemaduras controladas y manejo del fuego natural.

Al apoyar la evaluación de la adaptación al nivel nacional, el Consejo de la Casa Blanca sobre Calidad Ambiental inició un Grupo de Trabajo Interinstitucional de Adaptación al Cambio Climático que se aprovecha de la experiencia de las más de 20 agencias federales. Este grupo publicó un informe provisional recomendando una variedad de componentes clave en la estrategia nacional de adaptación al cambio climático, incluyendo la integración de la ciencia en las decisiones y políticas de adaptación y la coordinación y la comunicación entre las agencias y la industria. El Grupo de Trabajo será reemplazado por el Consejo sobre Clima, Preparación y Resistencia (según la Orden Ejecutiva 13653). Este Consejo continuará los esfuerzos del grupo de trabajo para abordar las cuestiones de manejo de recursos hídricos. Y continuara buscando formas de establecer una cooperación internacional sobre los regímenes de adaptación al cambio climático para construir el conocimiento, la armonización de los esfuerzos y apoyar mejor a las organizaciones y los esfuerzos en torno al cambio climático, adaptación y creación de resistencia multilaterales. Si bien los esfuerzos para proporcionar el manejo del ecosistema a escala nacional están en marcha y son esenciales para los esfuerzos de adaptación al cambio climático, la administración de las tierras públicas recae ultimadamente en las autoridades locales y regionales, y requiere un manejo local específico y un seguimiento preciso.

El Programa de Investigación del Cambio Global de los EUA. ha dado a conocer una visión estratégica para la evaluación continua y así aumentar nuestra capacidad de adaptación a todos los niveles de manejo en todo el país (USGCRP, 2012). El programa define la evaluación como un compromiso a largo plazo, consistente y continuo proceso de evaluación de los riesgos climáticos y las oportu-

nidades para informar la toma de decisiones en múltiples escalas y para diferentes sistemas. Esto requerirá el desarrollo de una evaluación de capacidad sostenida por el gobierno federal en apoyo de las partes interesadas y los científicos de todo el país. También es necesario aumentar la eficiencia y hacer uso de existentes inversiones federales para la investigación de los impactos y la adaptación, así como también mejorar la distribución de las lecciones aprendidas.

Conclusiones

Los impactos del cambio climático ya se están sintiendo por los ecosistemas de la Nación y la adaptación de manejo es necesaria y posible. Participar en la planificación de la adaptación lo antes posible ampliará la variedad de opciones de manejo que puedan ser empleadas, mientras que esperar puede perjudicar aquellas opciones que requieren plazos prolongados para su organización o ejecución, e incluso podría aumentar los costos de adaptación. Afortunadamente, los administradores de recursos naturales tienen una larga historia de hacer frente a los fenómenos extremos y cuentan con herramientas bien desarrolladas que pueden ser utilizadas para la adaptación a las nuevas condiciones. Además, la experimentación con nuevas herramientas también está en marcha en entornos científicos y de manejo.

Para el máximo beneficio en el contexto del cambio climático, puede ser necesario aplicar herramientas de manejo tradicional en nuevas formas. El cambio climático tiene efectos espaciales y temporales sobre los controladores ambientales de los sistemas ecológicos, como los patrones regionales de precipitación y temperatura. Por lo tanto, los manejadores pueden necesitar ajustar el uso de estas herramientas en términos de cuándo, dónde y cómo se aplican, con el fin de maximizar su eficacia en mantener metas de manejo. Por ejemplo, usar la restauración como una herramienta de manejo, puede no ser suficiente restaurar simplemente el mismo humedal a su estado anterior y en el mismo lugar. Por el contrario, los gerentes deben considerar si existen otros lugares con rasgos que le confieren mayor resistencia a futuros efectos del cambio climático y si hay una composición diferente de las especies que serán más tolerantes a las posibles condiciones futuras. Los estudios de casos que aquí se presentan exploran este tipo de ideas.

Los estudios de casos representan casos individuales donde adaptadores tempranos, experimentando con la adaptación a nivel local, han pasado por un proceso de elaboración de planes de adaptación. Aunque ningún caso de estudio demuestra el término de cada uno de los pasos del marco generalizado para la planificación de la adaptación presentada en la Figura 8 (ya que éstos fueron esfuerzos pioneros), la sabiduría combinada generada por examinar los esfuerzos de muchos adaptadores tempranos está llevando hacia la convergencia de enfoques similares, como el que aquí se presenta. Los manejadores pueden adaptar el proceso a su contexto particular de manejo, utilizando, la información disponible o generada cuando sea necesario. A pesar de la convergencia de los marcos de planificación a la adaptación, la incertidumbre siempre será una parte inherente en la toma de decisiones para la adaptación. Por tanto, existe una necesidad de incorporar la incertidumbre y tomar decisiones sólidas, monitorear para medir la eficacia de tales elecciones, ajustar las prácticas cuando sea necesario al llegar nueva información, y mejorar los métodos para hacer frente a las incertidumbres.

Para mejorar la capacidad del país para adaptarse a un clima cambiante, habrá que superar numerosos desafíos. El cambio climático ha traído una renovada urgencia a la necesidad reconocida de los sistemas ecológica y la vigilancia del clima a nivel nacional que deberá llevarse a cabo de manera coherente y coordinada. En consecuencia, hay una serie de agencias y organizaciones que se esfuerzan para desarrollar sistema de monitoreo y observación que pueden detectar los cambios climáticos y las respuestas ecológicas. Redes de monitoreo mejoradas serán necesarias para responder rápidamente a las condiciones del medio ambiente de cambio rápido. Tales resultados ambientales no previstos al frente del cambio climático hacen que las respuestas flexibles sean esenciales tanto para el manejo y planificación de la adaptación, como para mantener la resistencia de los recursos naturales y los ecosistemas. La planificación en sí tiene que ocurrir a escalas más grandes, así como las escalas locales, por eso los avances en la planificación y la toma de decisiones son tan importantes. Actualmente, la flexibilidad es un poco limitada a nivel nacional debido a la necesidad de cumplir con mandatos muy específicos, pero se está avanzando con el apoyo a las agencias y alentándolas a coordinar investigación y planifi-

cación estratégica para el cambio climático. Esta coordinación no solo está ocurriendo de manera incrementada, sino que el gobierno federal se ha comprometido a proporcionar los medios para entablar redes de expertos locales, regionales y nacionales y tomadores de decisiones para el intercambio de información, lecciones aprendidas y conocimientos sobre impactos y adaptación. La información de tales intercambios proporcionarán la base sobre la que se realizan las evaluaciones en curso para apoyar la toma de decisiones de adaptación e informar sobre las políticas de adaptación a nivel nacional. El éxito dependerá, en gran medida, del grado en que todos estos esfuerzos nos preparen para hacer frente a los enormes desafíos que plantea el cambio climático y en la medida en que sigamos evaluando el éxito de los esfuerzos de la planeación de adaptación.

Lecturas complementarias

- Baron, J.S., L. Gunderson, C.D. Allen, E. Fleishman, D. McKenzie, L.A. Meyerson, J. Oropeza, and N. Stephenson. 2009. Options for national parks and reserves for adapting to climate change. *Environmental Management* 44: 1033–1042.
- Bentz, B.J., J. Regniere, C.J. Fettig, E.M. Hansen, J.L. Hayes, J.A. Hicke, R.G. Kelsey, J.F. Negron, and S.J. Seybold. 2010. Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: direct and indirect effects. *BioScience* 60: 602–613.
- CCSP, 2008a. Synthesis and Assessment Product 4.3: The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. 362p.
- CCSP, 2008b. Synthesis and Assessment Product 4.4: Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. 873p.
- Chapin, F.S., G.P. Kofinas, and C. Folke, editors. 2009. Principles of Ecosystem Stewardship: Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World. Springer, New York, NY.

- Davison, J.E., L.J. Graumlich, E.L. Rowland, G.T. Pederson, and D.D. Breshears. 2012. Leveraging modern climatology to increase adaptive capacity across protected area networks. *Global Environmental Change* 22: 268-274.
- Glick, P., B.A. Stein, and N.A. Edelson, editors. 2011. Scanning the Conservation Horizon: A Guide to Climate Change Vulnerability Assessment. National Wildlife Federation, Washington, DC.
- Gonzalez, P. 2011. Science for natural resource management under climate change. *Issues in Science and Technology* 27: 65-74.
- Grambsch, A., and B. Menne. 2003. Adaptation and adaptive capacity in the public health context. In McMichael, A.J., D.H. Campbell-Lendrum, C.R. Corvalan, K.L. Ebi, A.K. Githeko, J.D. Scheraga, and A. Woodward, editors. *Climate Change and Human Health: Risks and Responses*. World Health Organization, Geneva, Switzerland, pp. 220-236.
- Griffith, B., J.M. Scott, R. Adamcik, D. Ashe, B. Czech, R. Fischman, P. Gonzalez, J. Lawler, A.D. McGuire, and A. Pidgorna. 2009. Climate change adaptation for the U.S. National Wildlife Refuge system. *Environmental Management* 44: 1043-1052.
- Hansen, L.J., and J. Hoffman. 2010. *Climate Savvy: Adapting Conservation and Resource Management to a Changing World*. Island Press, Washington, DC.
- Interagency Climate Change Adaptation Task Force. 2010. Progress Report of the Interagency Climate Change Adaptation Task Force: Recommended Actions in Support of a National Climate Change Adaptation Strategy. The White House Council on Environmental Quality, Washington, DC.
- Joyce, L.A., G.M. Blate, S.G. McNulty, C.I. Millar, S. Moser, R.P. Neilson, D.L. Peterson. 2009. Managing for multiple resources under climate change: national forests. *Environmental Management* 44: 1022-1032.
- Karl, T., J.M. Melillo, and T.C. Peterson, editors. 2009. *Global Climate Change Impacts in the United States*. Cambridge University Press, New York, NY.
- Kirshen, P., C. Watson, E. Douglas, A. Gontz, J. Lee, and Y. Tian. 2008. Coastal flooding in the northeastern United States due to climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 13: 437-451.
- Magness, D.R., J.M. Morton, F. Huettmann, F.S. Chapin, and A.D. McGuire. 2011. A climate-change adaptation framework to reduce continental-scale vulnerability across the United States National Wildlife Refuge System. *Ecosphere* 2: art112.
- Mawdsley, J. 2011. Design of conservation strategies for climate adaptation. Wiley Interdisciplinary Reviews: *Climate Change* 2: 498-515. National Research Council. 2010. America's
- Climate Choices: Adapting to the Impacts of Climate Change. National Academies Press, Washington, DC.
- Palmer, M.A., D.P. Lettenmaier, N.L. Poff, S.L. Postel, B. Richter, and R. Warner. 2009. Climate change and river ecosystems: protection and adaptation options. *Environmental Management* 44: 1053-1068.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2012. Implications of climate change for bioassessment programs and approaches to account for effects. Global Change Research Program, National Center for Environmental Assessment, Washington, DC. EPA/600/R-11/036A. Available from the National Technical Information Service, Springfield, VA, and online at <http://www.epa.gov/ncea>.
- U.S. Global Change Research Program (USGCRP). 2012. The National Global Change Research Plan 2012-2021: A Strategic Plan for the U. S. Global Change Research Program (USGCRP). U.S. Global Change Research Program, Washington, DC. Available at: <http://www.usgcrp.gov/>
- West, J.M., S.H. Julius, P. Kareiva, C. Enquist, J.J. Lawler, B. Petersen, A.E. Johnson, and M.R. Shaw. 2009. U.S. natural resources and climate change: Concepts and approaches for management adaptation. *Environmental Management* 44: 1001-1021.

Agradecimientos

Los fondos para este proyecto fueron proporcionados por la Orden de Compra EP11H000073 de la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. a la Ecological Society of America. Este artículo sintetiza la información del Programa de EE.UU. Ciencia del Cambio Climático (CCSP)'s Síntesis y evaluación de los productos 4.3 y 4.4, así como la más reciente de 2013 Proyecto de Evaluación Externa de la Evaluación Nacional del Clima. Las opiniones expresadas en este informe son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones o políticas de la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU.

Acerca de los Científicos

Susan H. Julius, Global Change Impacts and Adaptation Program (8601P), Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 1200 Pennsylvania Avenue NW, Washington, DC 20460

Jordan M. West, Global Change Impacts and Adaptation Program (8601P), Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 1200 Pennsylvania Avenue NW, Washington, DC 20460

Daniel Nover, AAAS Fellow, Global Change Impacts and Adaptation Program (8601P), Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 1200 Pennsylvania Avenue NW, Washington, DC 20460

Rachel Hauser, University Corporation for Atmospheric Research, P.O. Box 3000, 1850 Table Mesa Drive, Boulder, CO 80307

David S. Schimel, Jet Propulsion Laboratory M/S 233-300, 4800 Oak Grove Drive, Pasadena, CA 91109

Anthony C. Janetos, Pardee Center for the Study of the Longer-Range Future, Boston University, Boston University Pardee House, 67 Bay State Road, Boston, MA 02215

Margaret K. Walsh, Global Change Program Office, U.S. Department of Agriculture, 1400 Independence Avenue SW #4407, Washington, DC 20250

Peter Backlund, Integrated Science Program and External Relations, National Center for Atmospheric Research, PO Box 3000, Boulder, CO 80307

Layout

Bernie Taylor, Diseño y maquetación *Acerca de Issues in Ecology*

Acerca de *Issues in Ecology*

Issues in Ecology utiliza comúnmente entendido-lenguaje para reportar el consenso de un panel de expertos científicos sobre temas relacionados con el medio ambiente. El texto de *Issues in Ecology* revisa su contenido técnico por expertos revisores externos, y todos los informes deben ser aprobados por el Editor en Jefe antes de su publicación. Este informe es una publicación de la Sociedad Ecológica de América. No nos hacemos responsables de las opiniones expresadas por los autores en las publicaciones de la ESA.

Editor-en-Jefe

Jill S. Baron, EE.UU. Geological Survey y Colorado State University, jill.baron@colostate.edu

Consejo Asesor de *Issues in Ecology*

Charlene D'Avanzo, Hampshire College
Jessica Fox, Electric Power Research Institute
Serita Frey, University of New Hampshire
Noel Gurwick, Smithsonian Environmental Research Center
Keri Holland, U.S. Department of State
Robert Jackson, Duke University
Thomas Sisk, Northern Arizona University

Ex-Oficio Asesores

Jayne Belnap, US Geological Survey
Valerie Eviner, University of California, Davis.
Richard Pouyat, USDA Forest Service

Traducción al Español

Maria Florencia Prado-Fahnestock, Earth Science Department, University of New Hampshire

ESA Personal

Clifford S. Duke, Director of Science Programs
Jennifer Riem, Science Programs Coordinator

Copias Adicionales

Este informe y todo lo anterior en *Issues in Ecology* están disponibles electrónicamente de forma gratuita en

www.esa.org/issues.

Las copias impresas se pueden pedir en línea o poniéndose en contacto con la ESA:

Ecological Society of America
 1990 M Street NW, Suite 700
 Washington, DC 20036
 (202) 833-8773, esahq@esa.org

