

Tercera parte

---

## **Retos para consolidar las capacidades de conocimiento para la gestión**



# 9 Necesidades y prioridades de conocimiento científico para fortalecer la toma de decisiones

---

AUTORAS RESPONSABLES: Patricia Koleff • Tania Urquiza-Haas • Esmeralda Urquiza-Haas  
COAUTORA: Sylvia P. Ruiz González

AUTORES DE LOS RECUADROS: 9.1, Francisca Acevedo Gasman, Elleli Huerta Ocampo, Caroline Burgeff • 9.2, Federico Escobar, Patricia Koleff, Matthias Rös • 9.3, Esmeralda Urquiza-Haas • 9.4, Arvind Panjabi, Humberto Berlanga • 9.5, Lorenzo Rojas-Bracho, Armando Jaramillo Legorreta, Gustavo Cárdenas Hinojosa • 9.6, Roberto Mendoza Alfaro, Carlos Aguilera • 9.7, Melanie Kolb • 9.8, Enrique Martínez Meyer • 9.9, Georgina García Méndez • 9.10, Exequiel Ezcurra • 9.11, Yosú Rodríguez

REVISORES: Rodolfo Dirzo • Yosú Rodríguez • Jorge Soberón

---

## CONTENIDO

- 9.1 Introducción / 306
- 9.2 Necesidades de información sobre la biodiversidad / 308
  - 9.2.1 Conocimiento actual / 308
  - 9.2.2 Factores de cambio antropogénico y estado de conservación de especies y ecosistemas / 324
- 9.3 Necesidades para fortalecer las capacidades locales / 346
  - 9.3.1 Políticas públicas / 346
- 9.4 Reflexiones / 355
- Referencias / 362

## Recuadros

- Recuadro 9.1. *El proyecto global de maíces, un ejemplo de compilación de datos e información para la toma de decisiones* / 311
- Recuadro 9.2. *El Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad: capacidades para la toma de decisiones basadas en conocimiento científico* / 315

Recuadro 9.3. *La ciencia ciudadana, una estrategia central para fortalecer e impulsar el conocimiento de la biodiversidad del país* / 319

Recuadro 9.4. *Monitoreo de aves en el Desierto Chihuahuense, bases para la conservación y el manejo sustentable de pastizales* / 325

Recuadro 9.5. *Información científica y construcción de capacidades humanas, base para decisiones de conservación de la vaquita* / 329

Recuadro 9.6. *El catán: rescate de un recurso acuícola* / 333

Recuadro 9.7. *Indicadores de impacto humano, herramienta para evaluar el estado de conservación de la biodiversidad* / 337

Recuadro 9.8. *Prioridades de investigación en cambio climático en México* / 344

Recuadro 9.9. *Investigación aplicada para la restauración de ecosistemas* / 348

Recuadro 9.10. *Los manglares en México: historia de una utopía viable* / 351

Recuadro 9.11. *Interfase de los dominios de la ciencia y de la gestión pública* / 358

---

Koleff, P., T. Urquiza-Haas, E. Urquiza-Haas et al. 2016. Necesidades y prioridades de conocimiento científico para fortalecer la toma de decisiones, en *Capital natural de México*, vol. IV: *Capacidades humanas e institucionales*. CONABIO, México, pp. 305-370.

## Resumen

En este capítulo se identifican las áreas de información, en los diferentes niveles de organización de la biodiversidad (de genes a ecosistemas) y ámbitos espaciales (local a global), que es fundamental fortalecer para tomar mejores decisiones respecto a la conservación y el manejo sustentable del capital natural. Para ello se analizaron los vacíos en el conocimiento que se destacan en los tres primeros volúmenes de esta obra y se comparan con aquellos detectados en el primer volumen de *Estado actual y tendencias de la Evaluación de los ecosistemas del milenio*. Las prioridades de investigación son similares en los ámbitos nacional e internacional, pues ambos estudios concluyen que se deberán aumentar de manera significativa los esfuerzos (financiamiento, fortalecimiento de instituciones y creación de capacidades humanas) para incrementar el conocimiento de la biota, en particular de taxones hiperdiversos poco estudiados y de los organismos de importancia económica, ecológica y para la salud humana (p.ej., vectores de enfermedades, plagas); asimismo, las investigaciones se deben centrar de manera importante en mejorar nuestro entendimiento sobre los cambios en los procesos ecosistémicos por factores antropogénicos a diversas escalas y su conexión con la

biodiversidad y el bienestar humano, así como en mejorar nuestra comprensión de lo que significan las transacciones en el manejo de los ecosistemas, para permitir el desarrollo y la evaluación de prácticas productivas sustentables, a fin de detener el deterioro del capital natural. Se tendrá mayor posibilidad de éxito en lograr la sustentabilidad ambiental del país si podemos crear estrategias sólidas, fundamentadas en un mejor conocimiento de los factores humanos que inciden en la degradación del ambiente. Para ello es fundamental impulsar el desarrollo científico-tecnológico orientado a la solución de problemas ambientales y que involucre el trabajo interdisciplinario, así como fortalecer la colaboración entre los diferentes sectores de la sociedad. El conocimiento actual y el que se genere deben ser accesibles y útiles para facilitar soluciones a los tomadores de decisiones que reviertan las tendencias de pérdida de biodiversidad. Asimismo, se destaca la necesidad de evaluar los efectos de las políticas públicas en el estado de los ecosistemas y la biodiversidad y se presentan ejemplos que resaltan la importancia de contar con conocimiento científico para hacer más eficiente y eficaz la conservación y el manejo sustentable del capital natural.

## 9.1 INTRODUCCIÓN

Ha sido común que las decisiones de varios sectores, que directa o indirectamente afectan al medio ambiente, se tomen sin considerar los daños que podrían ocasionar y sólo se tengan en cuenta los beneficios, especialmente de tipo económico y social, que aportarán en el corto plazo, con el argumento de que no hay suficiente información que indique si habrá riesgos para la biodiversidad. Sin embargo, hay evidencia cada vez más tangible del riesgo ecológico. Por ejemplo, Toledo (2003) señala que en los últimos 20 años se ha pasado progresivamente de catástrofes puntuales de carácter local a casos regionales, a accidentes y eventos localizados regionalmente pero con consecuencias más allá de su área de origen, hasta aquellos de dimensión claramente global. Además, en los últimos años se acumularon suficientes evidencias que demuestran el cambio en fenómenos como el incremento en el número e intensidad de los ciclones, así como acontecimientos que revelan la vulnerabilidad de los seres humanos ante dos elementos naturales: el fuego (p.ej., los incendios forestales de 1997 y 1998, en particular en Asia y Latinoamérica) y el agua (p.ej., las inundaciones de Eu-

ropa central en 2002) (véase Cochrane 2003; Coumou y Rahmstorf 2012).

México ha sido evaluado como uno de los países con mayores impactos ambientales en el mundo de acuerdo con el valor absoluto de un índice basado en la pérdida de vegetación natural y el cambio de uso del suelo, la explotación de recursos marinos, la contaminación del agua y uso de fertilizantes, las emisiones de carbono y el número de especies amenazadas (Bradshaw *et al.* 2010). ¿Podemos suponer que se habrían tomado mejores decisiones sobre el medio ambiente si hubiera existido mayor conocimiento sobre el mismo? ¿Qué información sería necesaria para tomar mejores decisiones? Al parecer, también falta entender mejor cuál es la información útil para la toma de decisiones (McNie 2007).

Por otro lado, el conocimiento sobre la vasta diversidad biológica es incompleto. De hecho, como señala Wilson (2004), mucha gente que no trabaja directamente con aspectos ambientales se sorprende al saber que la mayor parte de la diversidad biológica del planeta es desconocida. Tan sólo el fundamento de la información de todas las especies, es decir su nombre científico, es aún un impedimento, dado que muchas de ellas todavía no se han des-

crito ni nombrado, o existen problemas de sinonimias sin confirmar que se trata de la misma especie (Cracraft 2002; Ebach *et al.* 2011). La revisión más reciente del conocimiento taxonómico de la biodiversidad de México estima que se han descrito, aproximadamente, entre 30 y 50% de las especies que hay en el país; sin embargo, este número puede estar subestimado si se considera que existen grupos taxonómicos de los que se conoce muy poco (Martínez Meyer *et al.* 2014). Por ello, tanto este como otros documentos estratégicos señalan que una de las metas más urgentes es el desarrollo de listados de especies como un punto de partida central para la gestión de la biodiversidad (p.ej., Mikkelsen y Cracraft 2001; SCBD 2002; CONABIO 2012b), pero el problema más serio es la falta de taxónomos especializados en los grupos más diversos, para realizar revisiones taxonómicas y monografías que nos lleven a ese conocimiento (capítulo 11 del volumen I; Eloísa y Navarro 2005; Ebach *et al.* 2011). No sólo se requieren listados de las especies nativas —con conocimiento particular de cuáles son endémicas—, sino de aquellas especies exóticas reconocidas como invasoras y que causan daños a los ecosistemas, la biota nativa y las actividades productivas (p.ej., GISP 2010; Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras 2010) y para ello se requiere la colaboración con taxónomos especialistas de otras regiones del mundo. Más allá de los listados, hay que afinar el conocimiento de la distribución geográfica de las especies a escalas de mayor resolución espacial (capítulo 19 del volumen I), del estado de las poblaciones y sus usos, de los procesos que mantienen los ecosistemas y los servicios ambientales que brindan a las poblaciones humanas, en especial a las que dependen más directamente de ellos (MA 2005; Sarukhán *et al.* 2009). Este conocimiento se debe dirigir a mejorar las capacidades de los dueños, los encargados del manejo y conservación de recursos naturales en los sectores públicos y privados, cuyas decisiones afectan las tierras y otras formas del capital natural de un país (Herrick y Sarukhán 2007).

Uno de los mayores retos será superar los obstáculos que impone entender los diferentes componentes de la biodiversidad, su estructura y procesos cuando cambian las escalas espaciales y temporales (en extensión y resolución; Storch *et al.* 2007; Soberón y Sarukhán 2009), así como los factores que la afectan y sus interacciones con relación al manejo del ambiente para facilitar soluciones a problemas complejos que históricamente los tomadores de decisiones no han sido capaces de resolver. Para ello es necesario impulsar el desarrollo científico-tecnológico orientado a la solución de problemas ambientales

por medio del trabajo interdisciplinario y estrechar la colaboración entre los diferentes sectores de la sociedad (Cash *et al.* 2006).

Asimismo, es necesario que se dé una comunicación más eficiente entre el dominio de la ciencia y el de la gestión pública, aunada a la transferencia del conocimiento en la forma en que lo demandan los gestores de las políticas públicas (véanse detalles en Rodríguez Aldabe y Rodríguez Aldabe 2007; Turnhout *et al.* 2007). En ese sentido, las evaluaciones científicas son herramientas útiles para la transferencia del conocimiento, con lo que se pretende reducir la brecha existente entre ambos dominios; para ello es importante que las evaluaciones brinden credibilidad científica, relevancia práctica y legitimidad (Cash *et al.* 2003).

El presente capítulo se integró a partir de la recopilación de vacíos de información identificados en los 45 capítulos que conforman los tres primeros volúmenes de esta obra, así como los 27 capítulos que conforman el primer volumen sobre el *Estado actual y tendencias de la evaluación de los ecosistemas del milenio* (MA 2005).

Ambas evaluaciones, en los diferentes ámbitos (nacional y global), tienen como propósito ofrecer información científica fundamentada y políticamente relevante sobre el estado de conservación de los ecosistemas, los servicios ambientales que estos proveen y su influencia en el bienestar humano. En particular, *Capital natural de México* brinda un panorama que permite identificar las prioridades de atención en políticas públicas (véase Sarukhán *et al.* 2012) y nuevas áreas de investigación, que aporten información útil para una mejor toma de decisiones acerca del uso del patrimonio natural en México (Sarukhán *et al.* 2009).

Cabe mencionar que en el presente capítulo se hace énfasis esencialmente en las necesidades de información detectadas en ambas evaluaciones científicas, y diversos recuadros ilustran el modo en que un mayor conocimiento sobre nuestra biodiversidad se ha traducido en recomendaciones concretas de manejo para su valoración, conservación y uso sustentable, o que han influido o podrían influir de manera determinante en la toma de decisiones sobre el capital natural.

Considerando el orden de los volúmenes y de los capítulos que componen estas obras podemos agrupar las necesidades de información sobre la biodiversidad en cinco grandes categorías: 1] conocimiento actual, 2] tendencias de cambio y estado de conservación, 3] factores causales de afectación, 4] políticas actuales y 5] políticas futuras (Fig. 9.1).



**Figura 9.1** Flujo ideal de integración de vacíos de conocimiento para la toma de decisiones.

La primera categoría incluye el conocimiento básico y aplicado sobre la biodiversidad y los bienes y servicios que nos proporcionan los ecosistemas, lo que es abordado en el apartado 9.2.1. El conocimiento sobre la biodiversidad incluye varios niveles de organización estructural y funcional, desde los genes hasta los ecosistemas; es necesaria la información de los distintos elementos y cómo se relacionan para comprender el funcionamiento de los procesos que mantienen saludables los ecosistemas y permitirían usar y manejar el capital natural de forma sustentable, en especial será un reto fundamental de las ciudades optimizar el uso de los bienes y servicios con una planificación del desarrollo adecuada. Subsanan los vacíos en el conocimiento básico de la diversidad biológica es el punto de partida para abordar una segunda categoría de vacíos, que incluye las necesidades de información sobre el estado actual de la biodiversidad y los ecosistemas y los factores de cambio antropogénico (apartado 9.2.2). Saber en qué condiciones están los diversos elementos de la biodiversidad es indispensable para priorizar los recursos materiales y humanos disponibles, para revertir las tendencias de pérdida de biodiversidad (*i.e.* reducir la deforestación y la defaunación, recuperar poblaciones de especies en mayor riesgo, restaurar ecosistemas, etc.), sobre todo de aquellas especies y ecosistemas que enfrentan mayores presiones. La tercera categoría de vacíos abarca (apartado 9.3.1) la información que permitirá focalizar las futuras políticas públicas, las cuales estarían incompletas si no se consideran los factores tanto directos como indirectos que afec-

tan el estado de conservación y las tendencias de cambio de las especies y los ecosistemas más vulnerables. El desconocimiento de cómo los factores originados por las actividades humanas inciden en la degradación del ambiente, y que son la raíz de los problemas ambientales, impide desarrollar estrategias fundamentadas, enfocadas y con mayores probabilidades de éxito.

Idealmente, las políticas públicas deben partir de una base de conocimiento profundo y completo, pero además es necesario evaluarlas con regularidad para saber si contribuyen efectivamente a cumplir con los objetivos y metas para las cuales se crearon (apartado 9.3.1). La evaluación de las políticas de gestión ambiental y de las políticas de otros sectores que inciden en el capital natural es una tarea necesaria que debe emprenderse para evitar que se sigan implementando acciones que no sólo no aportan, sino que incluso obstaculizan la conservación y restauración de los ecosistemas y la biodiversidad. Estas políticas contradictorias se deben a la ausencia de un mecanismo efectivo de transversalidad para incluir la conservación del capital natural en la planeación sexenal y en el diseño de los programas sectoriales.

Finalmente, si se logran cubrir los vacíos de conocimiento antes señalados —o al menos una parte de ellos—, se contará con la información necesaria para establecer mejores políticas públicas informadas y fundamentadas en todos los sectores, que junto a una nueva cultura ambiental, y con participación ciudadana activa, ayudarán a frenar el avance implacable de la degradación y la pérdida de la biodiversidad que amenazan nuestro bienestar actual y futuro.

## 9.2 NECESIDADES DE INFORMACIÓN SOBRE LA BIODIVERSIDAD

### 9.2.1 Conocimiento actual

Al considerar la magnitud estimada de los diversos elementos que componen la biodiversidad, y los procesos que mantienen y estructuran los ecosistemas (véase el capítulo 19, volumen I de esta obra), sin duda, cuando se quiere saber cuáles son las necesidades de información sobre la biodiversidad, la lista sería prácticamente inagotable. Sin embargo, se trata de identificar sólo las necesidades de información más apremiantes, en relación con la toma de decisiones que afectan el capital natural.

Tomamos como punto de partida las necesidades detectadas para México en los tres primeros volúmenes de

esta obra. Acerca del conocimiento sobre la biodiversidad actual destacan aspectos básicos: desde la necesidad de nuevos inventarios florísticos y faunísticos hasta un mejor conocimiento de la biodiversidad por grupos funcionales, de las transacciones en el manejo de los ecosistemas y de la necesidad de estudios sobre la diversidad genética, para realizar planes tanto de recuperación y

conservación de especies en riesgo de extinción como de numerosas especies de las que México es centro de origen y diversificación, y que son fundamentales para nuestra alimentación (véase el cuadro 9.1). Un ejemplo de la importancia de generar nueva información relevante es la recolecta de nuevos datos para los maíces de México y sus parientes silvestres (recuadro 9.1).

**Cuadro 9.1** Síntesis de las prioridades de investigación en biodiversidad más apremiantes para tres grandes niveles convencionales (genes, especies y ecosistemas), así como aquellas vinculadas con la diversidad cultural

<b>Genes</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variabilidad genética de especies y poblaciones:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– especies de interés económico y cultural para el manejo de recursos alimentarios (<i>v. gr.</i>, plantas cultivadas y sus parientes silvestres);</li> <li>– especies en riesgo de extinción, endémicas y sobreexplotadas, para evaluar el nivel de vulnerabilidad ante diversos factores de presión y amenaza (<i>i.e.</i>, estudios de genética de poblaciones), y para apoyar el diseño de estrategias de conservación, recuperación y aprovechamiento sustentable;</li> <li>– especies invasoras, para desarrollar estrategias de manejo y control de todas aquellas que afecten la salud humana, animal y vegetal (<i>v. gr.</i>, vectores de enfermedades y parásitos, plagas, enfermedades epizoóticas).</li> </ul> </li> <li>• Identificar áreas de alta diversidad genética para la conservación y el manejo sustentable de los recursos genéticos.</li> <li>• Evaluar los riesgos de la biotecnología de punta sobre la diversidad biológica y cultural del país.</li> <li>• Monitoreo y vigilancia de organismos genéticamente modificados (OGM) en el ambiente.</li> </ul>
<b>Especies</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taxonomía y sistemática:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– taxones poco conocidos, especialmente los taxones hiperdiversos (<i>v. gr.</i>, artrópodos, hongos, angiospermas, peces, microorganismos del suelo) y de ambientes acuáticos (pelágicos, bentónicos), y grupos de organismos con importancia para los servicios de provisión y regulación (<i>v. gr.</i>, control biológico, polinizadores);</li> <li>– inventarios en zonas poco estudiadas, de gran complejidad fisiográfica y que albergan alta diversidad de especies (potencial o conocida para ciertos grupos); en ambientes marinos, lagunares e insulares y áridos; en regiones o ecosistemas identificados como prioritarios para la conservación.</li> </ul> </li> <li>• Grupos funcionales:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– generar y organizar información sobre atributos funcionales de las especies;</li> <li>– evaluar el papel funcional de las especies.</li> </ul> </li> <li>• Patrones de diversidad:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– patrones de diversidad beta y determinantes de los patrones de distribución espacial, especialmente en ambientes marinos;</li> <li>– patrones de variación interanual en el uso del espacio por especies migratorias y factores que promueven dichas variaciones.</li> </ul> </li> <li>• Estado de conservación y pulso de extinción de especies y poblaciones, especialmente de importancia económica y ecológica y en ambientes marinos.</li> <li>• El papel de los componentes de la biodiversidad en las funciones y los procesos de los ecosistemas, así como en la provisión de los servicios ecosistémicos.</li> <li>• Requerimientos y uso de hábitat de especies clave para el funcionamiento de los ecosistemas, así como de especies en riesgo y de importancia social y económica.</li> <li>• Capacidad de movimiento y uso de hábitats antrópicos en agropaisajes y zonas urbanas.</li> <li>• Cambios en la diversidad, composición y abundancia de especies en el gradiente rural-urbano.</li> <li>• Evaluación de los factores de presión y amenaza actuales y potenciales, en particular               <ul style="list-style-type: none"> <li>– aquellos que promueven la introducción de especies invasoras para desarrollar mecanismos de prevención y control;</li> <li>– de actividades de extracción y uso, así como estimación de las tasas de extracción de especies de importancia ecológica, económica y social;</li> <li>– del cambio climático global en la distribución y composición de las comunidades bióticas;</li> <li>– de la contaminación química en las especies de fauna silvestre.</li> </ul> </li> </ul>

**Cuadro 9.1** [concluye]

<b>Ecosistemas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación del estado, condición y tendencias de transformación de los ecosistemas.</li> <li>• Incrementar la resolución y periodicidad de la cartografía de cobertura vegetal y uso del suelo.</li> <li>• Crear sistemas de monitoreo para el manejo integral de los ecosistemas, en particular los más vulnerables y amenazados por las actividades humanas (<i>v. gr.</i>, humedales, arrecifes de coral, cuerpos acuáticos, bosques y selvas, particularmente ecosistemas de montaña).</li> <li>• Establecer sistemas de alerta temprana sobre eutroficación, mareas rojas, trayectorias de cambio de los ecosistemas, invasiones biológicas, sequías, entre otros.</li> <li>• Obtener información de forma sistemática y a largo plazo sobre los procesos ecológicos básicos (p. ej, dinámica hidrológica, flujos de materia y energía) que mantienen el funcionamiento y la provisión de servicios de los ecosistemas.</li> <li>• Incrementar cuantificaciones de biomasa de diferentes ecosistemas, en particular de biomasa muerta, de las raíces y del suelo.</li> <li>• Ampliar la extensión geográfica y temporal de los estudios sobre flujos de carbono, nitrógeno y fósforo, sobre la magnitud de los reservorios y los procesos que controlan dichos flujos.</li> <li>• Realizar estudios a gran escala de los flujos de los gases de efecto invernadero entre el océano y la atmósfera, y el papel del océano como reservorio y sumidero de carbono.</li> <li>• Valorar el papel desempeñado por diferentes grupos funcionales sobre la estructura, dinámica y el funcionamiento de los ecosistemas y su relación con la provisión de servicios ecosistémicos.</li> <li>• Evaluar las consecuencias de la pérdida de la biodiversidad por el impacto antropogénico sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y la provisión de servicios ecosistémicos.</li> <li>• Evaluar los umbrales de resistencia y resiliencia de los ecosistemas ante diferentes perturbaciones.</li> <li>• Evaluar los efectos ecológicos de los incendios en la composición, estructura y dinámica de los ecosistemas para desarrollar mejores estrategias de manejo del fuego.</li> <li>• Evaluar la respuesta de los ecosistemas a la variabilidad climática y las actividades humanas, en particular de los ecosistemas marinos.</li> <li>• Evaluar en diversos ecosistemas la red de interacciones de los factores próximos de cambio (efectos directos, indirectos y sinergias).</li> <li>• Obtener información precisa sobre la situación de los distintos servicios ecosistémicos (desarrollar indicadores y ampliar frecuencia y cobertura de mediciones).</li> <li>• Estimar el valor ecológico y económico de los servicios ecosistémicos.</li> <li>• Estimar el costo económico y social del daño ambiental.</li> <li>• Prever consecuencias ambientales y socioeconómicas de los diversos esquemas de manejo (<i>i. e.</i>, estimación de las transacciones en el manejo y transformación de los ecosistemas).</li> <li>• Analizar el potencial de restauración de sitios deteriorados, a partir de la vegetación remanente como inóculos biológicos de repoblación.</li> <li>• Estudiar la biodiversidad en ecosistemas transformados y paisajes rurales, así como su función en la provisión de servicios ambientales.</li> </ul>
<b>Diversidad cultural</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudiar, rescatar, sistematizar y organizar el conocimiento tradicional.</li> <li>• Evaluar la sostenibilidad del aprovechamiento tradicional y comercial de flora y fauna silvestres (usos, volúmenes extraídos, procesos de recolección, producción y comercialización, información biológica básica sobre las especies).</li> </ul>

Sin duda, hace falta realizar inventarios de múltiples grupos de organismos en numerosas regiones, particularmente en aquellas para las que no se cuenta con información y datos actualizados en el SNIB (Escobar *et al.* 2009; cuadros 9.1 y 9.2; Fig. 5.2a de este volumen), y de parientes silvestres de especies domesticadas o en proceso de domesticación. Hay que priorizar las regiones menos conocidas (véase la figura 9.2) o las entidades federativas con menor número de recolectas (véanse el Anexo I de este volumen y los artículos del volumen 85 de la

*Revista Mexicana de Biodiversidad*), sobre todo aquellas que albergan diversidad excepcional, por su concentración de especies endémicas o por la riqueza total de especies, así como las regiones que brindan servicios ambientales importantes a las comunidades locales y las ciudades que dependen de ellos, y los hábitats críticos con mayor vulnerabilidad que requieren un mejor entendimiento para su recuperación y restauración, lo cual en gran medida coincide con las necesidades detectadas a escala mundial.

### RECUADRO 9.1 EL PROYECTO GLOBAL DE MAÍCES, UN EJEMPLO DE COMPILACIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES

Francisca Acevedo Gasman • Elleli Huerta Ocampo • Caroline Burgeff

México cuenta con una inmensa riqueza de recursos genéticos, tanto en el entorno natural como en el agrícola. Es centro de origen, domesticación y diversidad genética de un cúmulo de especies de importancia para la alimentación (CONABIO 2012b) y de las que se han desprendido algunos de los cultivos de mayor relevancia económica mundial; buenos ejemplos son el cacao, la vainilla, el tomate, la calabaza, el frijol, el chile y el maíz. Lo interesante es que en México aún se conserva la rica diversidad relacionada con estos cultivos, en términos de variedades, razas y sus parientes silvestres, y con ello la potencialidad de crear nuevas variantes de los mismos que respondan a las necesidades y los retos que se van presentando en estos tiempos de cambio (capítulo 8 del volumen II; Hunter y Heywood, 2011).

La riqueza presente necesariamente invita a buscar formas efectivas de conservación de los recursos de los que no sólo depende la población mexicana, sino que en buena parte la humanidad entera. Se han dado en México diversos esfuerzos de conservación *ex situ*, así como algunos casos concretos de conservación *in situ*, aunque estos últimos aún son contados y ocurren de manera aislada (Sinarefi, INIFAP, Universidad de Guadalajara, etc.).

Uno de los retos a los que hoy se enfrenta México es la toma de decisiones en relación con el uso de organismos genéticamente modificados (OGM) en el ambiente (capítulo 7 del volumen II). La Ley de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) reconoce la importancia que tienen los centros de origen y de diversidad genética de las especies nativas de México e indica que éstos, es decir, las especies y las zonas en las que están presentes, deben ser protegidos. Esta preocupación es compartida por instrumentos legales internacionales, como el Convenio sobre la Diversidad Biológica, el Protocolo de Cartagena, así como el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura, propuesto por la FAO. En particular, la LBOGM indica que se deberán identificar estas especies y las zonas que las albergan para que se les proteja. Los recursos genéticos en general son vulnerables a las acciones humanas que modifican el entorno en el que éstos proliferan, es decir, no está garantizada su permanencia en el ambiente a menos de que de manera consciente se resguarden las condiciones que les permiten mantenerse a largo plazo.

Una de las acciones humanas que pudiera tener consecuencias sobre ciertos recursos genéticos son los OGM, debido a la presencia en su genoma de secuencias genéticas introducidas

deliberadamente por el hombre, y en combinaciones en general inexistentes en la naturaleza, las cuales han sido diseñadas específicamente para incorporar alguna característica particular en los individuos resultantes de la transformación.

La LBOGM especifica que las zonas de diversidad que se identifiquen para ser protegidas deberán ser “actuales”. El marco de tiempo en el que se mide la diversidad existente es algo que podría debatirse; sin embargo, es claro que resulta conveniente contar con la mejor información que podamos obtener dadas las implicaciones que tienen las decisiones que se toman con base en la misma. Es decir, mientras más cercana a la realidad sea la información, habrá más y mejores elementos disponibles en el momento de tomar las decisiones que puedan afectar a esta diversidad.

Una vez que la LBOGM entró en vigor en 2005, y dadas las presiones por parte de la industria agrobiotecnológica para liberar maíz genéticamente modificado en México, la Sagarpa consultó a la CONABIO respecto a la información con la que contaba en sus archivos y bases de datos relativas al maíz y sus parientes silvestres, con el fin de cumplir con el artículo 86 de la LBOGM.<sup>1</sup> A raíz de esta consulta se le entregó a la Sagarpa la información con la que se contaba, pero adicionalmente la CONABIO analizó los datos y elaboró un documento con los resultados obtenidos y con recomendaciones específicas (CONABIO 2006). Una de las recomendaciones que se emitió en dicho documento decía: “Integrar toda la información existente en el país y actualizarla para reducir la incertidumbre en la tarea de definición de las áreas que nos interesan”.

La recomendación como tal dio lugar a que la Sagarpa, la Semarnat y la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (Cibiogem) sumaran recursos para financiar un proyecto que ayudara a reducir la incertidumbre mediante la recopilación de información y la generación de nuevo conocimiento en relación con los maíces nativos y sus parientes silvestres. En total se sumaron 15 millones de pesos para llevar a cabo estudios tanto de gabinete como en campo. El Proyecto Global de Maíces fue elaborado por la CONABIO, que lo coordinó junto con el INIFAP y el INE (ahora INECC) como instancias de investigación de la Sagarpa y la Semarnat, respectivamente.

El proyecto contó con tres componentes:

- Revisión de la literatura científica existente en relación con el origen del maíz y un análisis respecto a las hipótesis

**RECUADRO 9.1** [continúa]

principales existentes; los resultados dieron lugar a una publicación presentada en 2009 (Kato-Yamakake *et al.* 2009).

- Captura de información proveniente de recolectas pasadas pero que no estaba aún en bases de datos o que requería ser actualizada; este componente permitió financiar la captura y actualización de la más importante colección nacional de maíces nativos, la del banco de germoplasma nacional del INIFAP (Hernández-Casillas 2007). Este proyecto duplicó la información existente respecto a esta colección (INE *et al.* 2011).
- Generación de nueva información a partir de recolectas en campo que permitieran tener una representación más actual de la diversidad existente en el entorno mexicano; para ello se financiaron 10 proyectos de recolecta que cubrieron una porción importante del territorio mexicano (véase el anexo 12 en CONABIO 2012c). Los resultados de los proyectos están todos en línea junto con la base de datos que reúne la información recopilada en los componentes mencionados (véase el anexo 8, en CONABIO 2012c). El incremento de registros de teocintles y de razas de maíces nativos, así como su distribución espacial, puede apreciarse en las figuras 1 y 2.

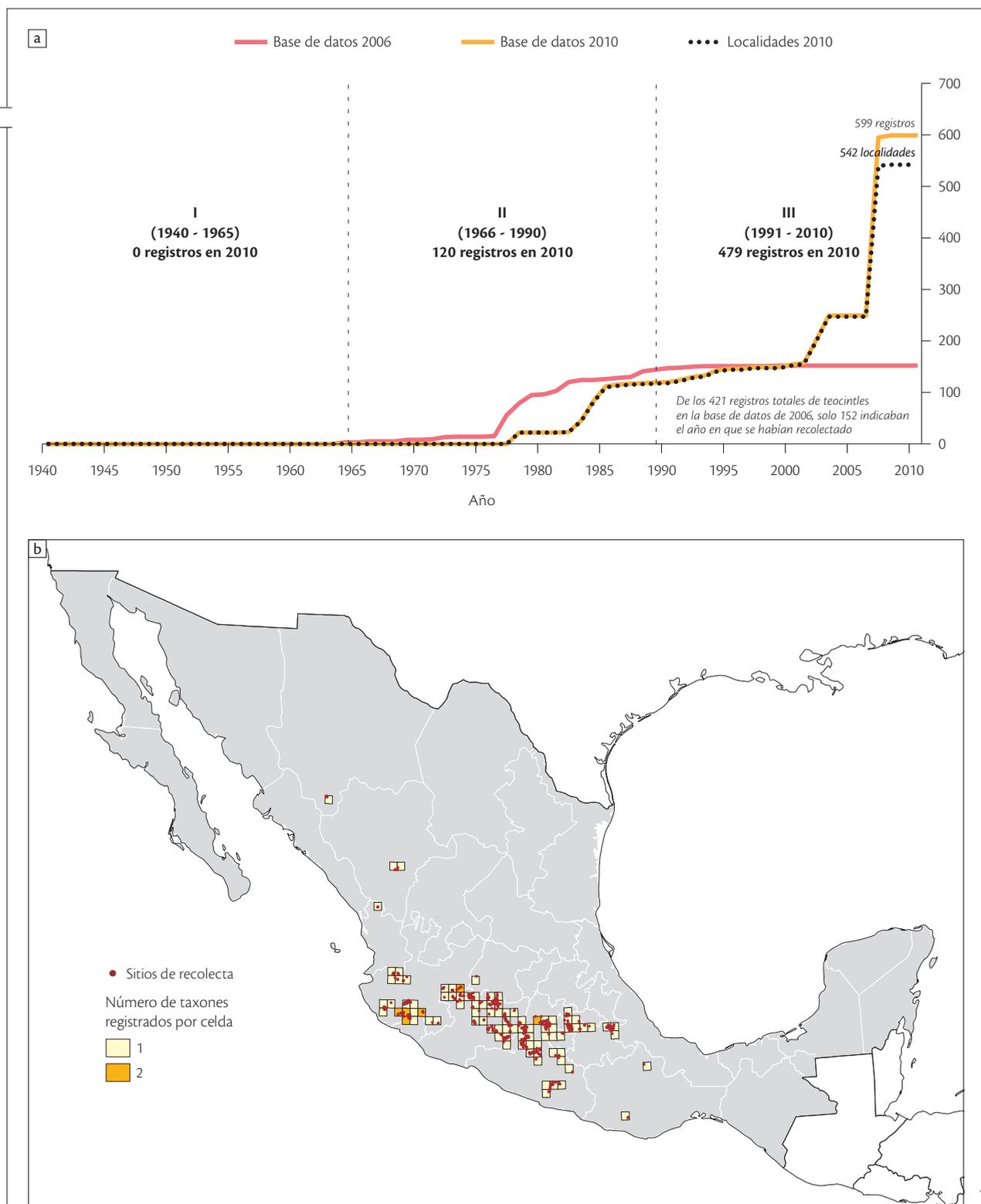
Este esfuerzo permitió reunir la información más completa sobre los maíces nativos de México y sus parientes silvestres. Se cuenta con registros actuales de qué razas están aún presentes en México, su distribución actual, y en muchas ocasiones es posible inferir su permanencia en la distribución previamente estudiada. Los resultados señalan que la diversidad conocida de los maíces nativos no ha disminuido a pesar de los varios factores que podríamos suponer estarían actuando en contra de su permanencia en campo, como: poco apoyo a los sistemas agrícolas tradicionales, baja inversión nacional e internacional en investigación agrícola, falta de apoyo extensivo en México, desaparición de la Productora Nacional de Semillas, gran migración de la población rural a zonas urbanas, etc. A pesar de estos factores negativos, las diferentes razas de los maíces nativos siguen siendo cultivadas por una porción importante de la población que obtiene su alimento principalmente de cultivar la tierra. Quienes las cultivan han sabido explotar la riqueza genética, lo que les ha permitido adaptarlas a las muy diversas condiciones agroecológicas en México, a las demandas de características específicas en campo y las relativas a su uso final. Es decir, lo que hemos aprendido con la información que se recabó es que, a pesar de varios factores que influyen en un recurso genético como el maíz, éste sigue teniendo un papel de la mayor importancia para México: ser fuente alimentaria primaria y sostén económico para muchos hogares mexicanos.

Por medio del proyecto también logramos conocer con mayor profundidad la situación respecto a los parientes silvestres del maíz, en especial las poblaciones de teocintle, el ancestro directo del maíz de acuerdo con la literatura reciente. Estas poblaciones son únicas; su distribución se concentra en el norte y centro del país —aunque su distribución llega a Guatemala y Nicaragua—, y México alberga la mayor diversidad genética conocida para el género *Zea*. Sin embargo, su permanencia está muy amenazada por diversos factores externos, en especial la urbanización, así como por el ganado local. Wilkes (2007) y Sánchez-González (2011) señalan que de no tomarse medidas específicas, buena parte de su actual distribución, que ya se estima muy reducida en comparación con estudios realizados tan sólo hace cuatro décadas, podría desaparecer. El valor de la fuente de genes de estas poblaciones es incalculable, en especial si tomamos en cuenta que en realidad son pocos los genes que han sido explotados a la fecha para el mejoramiento genético del maíz.

A partir de los resultados obtenidos, la CONABIO emitió en marzo de 2011 un documento en el que fija su posición respecto al maíz en México (CONABIO 2011a). Éste resume los aspectos más relevantes del proyecto global de maíces, en el que nuevamente se incluyen recomendaciones con la intención de apoyar a la Sagarpa y la Semarnat en la toma de decisiones respecto al artículo 86 de la LBOGM. El proyecto global de maíces permitió reducir significativamente la incertidumbre inicial planteada en 2006; es evidente que las instancias cuentan con más y mejores elementos hoy, que esperamos sean considerados para la toma de sus decisiones ya que éstas afectarán el destino de este recurso genético.

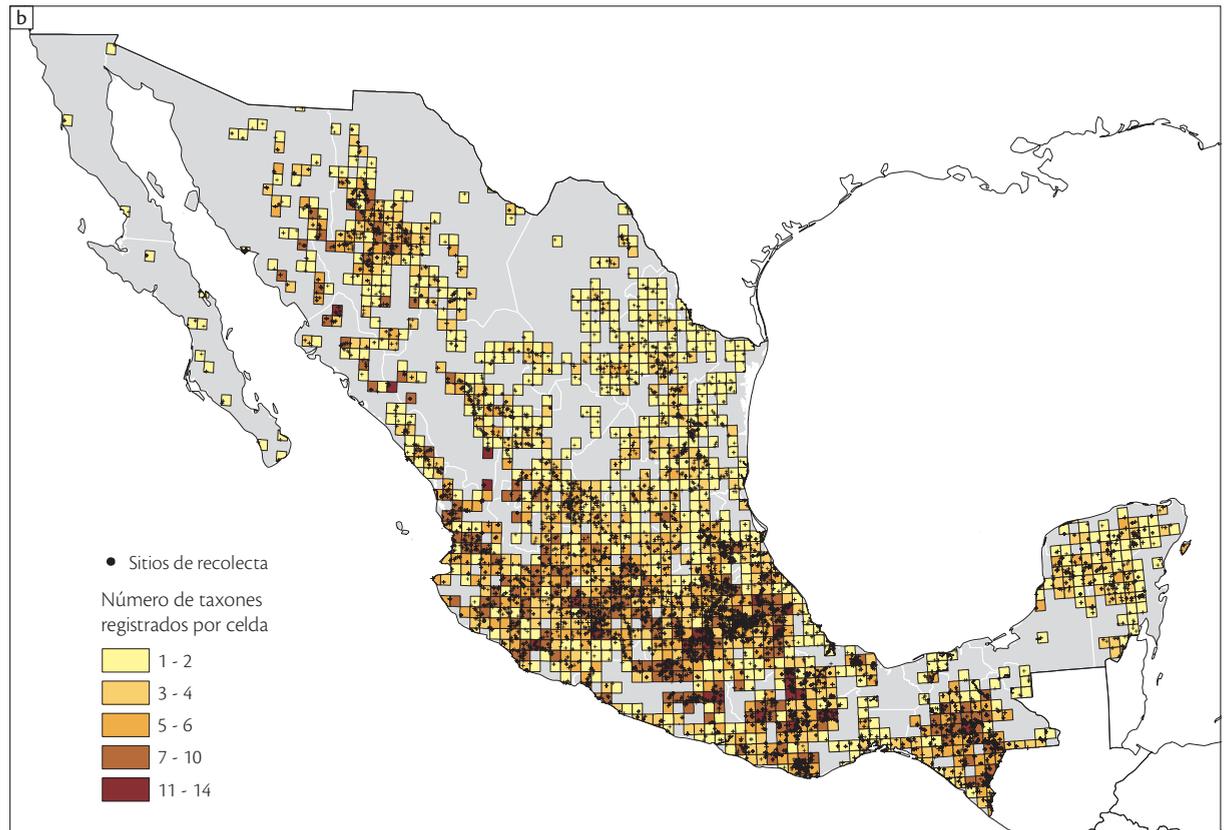
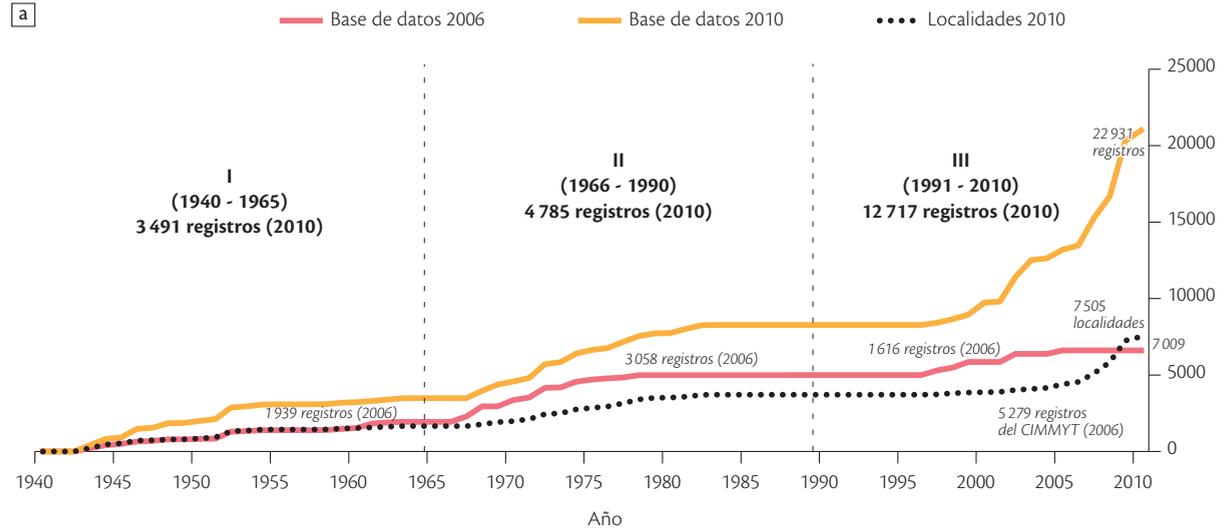
Por último, la experiencia aquí presentada y las lecciones aprendidas durante su desarrollo debieran servir de ejemplo para enfocar esfuerzos en otros recursos genéticos tan valiosos como los del maíz.

1 Artículo 86. Las especies de las que los Estados Unidos Mexicanos sea centro de origen y de diversidad genética así como las áreas geográficas en las que se localicen, serán determinadas conjuntamente mediante acuerdos por la Semarnat y la Sagarpa, con base en la información con la que cuenten en sus archivos o en sus bases de datos, incluyendo la que proporcione, entre otros, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, el Instituto Nacional de Ecología, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y la Comisión Nacional Forestal, así como los acuerdos y tratados internacionales relativos a estas materias. La Semarnat y la Sagarpa establecerán, en los acuerdos que expidan, las medidas necesarias para la protección de dichas especies y áreas geográficas.



**Figura 1** (a) Número de registros de teocintles a lo largo de tres periodos, y (b) sitios de recolecta de teocintles disponibles en la base de datos 2010, y número de taxones presentes por celda (25 x 25 km). Para su elaboración se utilizaron 599 registros con coordenadas geográficas y 542 sitios de recolecta.

RECUADRO 9.1 [concluye]



**Figura 2 (a)** Número de registros de maíces a lo largo de tres periodos, y **(b)** sitios de recolecta de maíces disponibles en la base de datos 2010 y número de taxones presentes por celda (aproximadamente 25 × 25 km). Para su elaboración se utilizaron 21 993 registros con coordenadas geográficas pertenecientes a las 59 razas previamente reportadas para México y cinco más que han sido descritas fuera del país, pero que también se han reportado para México en la base de datos.

**RECUADRO 9.2** EL SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN SOBRE BIODIVERSIDAD: CAPACIDADES PARA LA TOMA DE DECISIONES BASADAS EN CONOCIMIENTO CIENTÍFICO<sup>1</sup>

Federico Escobar • Patricia Koleff • Matthias Rös

Por mucho tiempo ha faltado una política nacional congruente con la importancia de la investigación como fuente primaria de conocimiento para tomar decisiones de Estado, y ha habido una desarticulación entre las instituciones del sector académico y de gestión en torno a la implementación de políticas ambientales congruentes con la realidad ambiental del país. A pesar de ello, México ha desarrollado y consolidado capacidades para generar conocimiento sobre su biodiversidad. Una de estas capacidades se refleja en la integración del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) creado por la CONABIO, institución que, a su vez, es otro ejemplo notable de una decisión afortunada por parte del Estado para conjuntar el conocimiento de la biodiversidad del país (capítulo 5 de este volumen).

El SNIB es uno de los resultados más tangibles del esfuerzo nacional de los últimos 20 años, ya que además de evidenciar la madurez de las instituciones en torno al conocimiento de la biodiversidad de México se destaca como el esfuerzo más importante realizado por un país megadiverso para documentar y sistematizar con métodos modernos el conocimiento acerca de su diversidad biológica, con el propósito de apoyar la toma de decisiones para el manejo y la conservación de los recursos naturales del país.

El estudio de la diversidad biológica en México, como en otras naciones, ha estado relacionado con la creación y consolidación de las colecciones científicas ligadas al desarrollo de los principales centros públicos de enseñanza e investigación. Debido a que tales colecciones tienen un papel fundamental para documentar la distribución espacial y temporal de la biodiversidad, la CONABIO concentró gran parte de su esfuerzo en la captura de datos acumulados por más de 150 años por numerosos naturalistas y biólogos, así como en repatriar datos de ejemplares de la flora y fauna de México que albergan colecciones extranjeras.

Entre 1992 y 2006 la inversión total realizada para la integración de alrededor de tres millones de registros al SNIB (provenientes de 283 000 localidades y pertenecientes a 53 000 especies) tuvo un costo de 158 millones de pesos ( $\approx$  11 millones de dólares). Se financiaron durante este periodo 512 proyectos, mismos que estuvieron bajo la responsabilidad de 356 investigadores pertenecientes a 58 instituciones. Como resultado de estos proyectos se crearon bases de datos biogeográfico-taxonómicas, llamadas así porque documentan la presencia de una especie en un lugar y tiempo

determinados. Mantener estas bases de datos en un sistema accesible, de consulta pública eficiente, dinámica y precisa en términos taxonómicos y geográficos, debe ser una tarea prioritaria, en la que es necesaria la colaboración de la comunidad de taxónomos especialistas en cada uno de los grupos biológicos, de manera que se brinde mayor certeza y confianza a los usuarios de la información.

Debemos tener en cuenta que 77% de la inversión total se realizó entre 1992 y 1999, y que después del año 2000 la tasa de inversión se redujo cuatro veces por razones presupuestarias, lo cual tuvo un efecto notorio en las tasas de incorporación de nueva información para la mayoría de los grupos biológicos analizados y, por lo tanto, en el balance general entre la representación taxonómica y la representación geográfica de cada grupo taxonómico en el SNIB.

La inversión durante este periodo ha estado concentrada en las instituciones con mayor liderazgo en el estudio de la biodiversidad nacional, como la UNAM, el Inecol y el Ecosur. Ahora es necesario fortalecer la capacidad de investigación respecto a la biodiversidad por parte de las instituciones ubicadas en las regiones poco conocidas, con el propósito de avanzar de manera más eficiente no sólo en su inventario, sino también en el desarrollo de investigación sobre su uso y conservación.

Por otra parte, tres grupos taxonómicos —angiospermas, artrópodos (en particular mariposas) y mamíferos— concentraron 74% de la inversión total realizada hasta el momento en las bases de datos biogeográficas del SNIB. Esto representa un gran sesgo si consideramos que sólo en las aves la representación taxonómica supera 90% del total de especies conocidas para México, mientras que la representación taxonómica de las angiospermas se aproxima a 55% del total de especies conocidas y la de los artrópodos terrestres apenas supera 10%. Llama la atención que la inversión sea de menos de 5% del total en grupos taxonómicos con una elevada riqueza de especies, que proporcionalmente tiene un menor número de especialistas en el país, como es el caso de los invertebrados (no artrópodos) y hongos. Esto no sólo ocurre en México, la tendencia mundial es similar.

Una de las tareas prioritarias de la CONABIO es continuar la digitalización de la información disponible en las colecciones científicas del país (estimada en 11.5 millones de ejemplares). Esto permitirá determinar la magnitud de lo que aún falta por conocer y que no se encuentra en las colecciones. También

**RECUADRO 9.2** [concluye]

deberemos considerar que a pesar de que las colecciones biológicas concentran una porción importante del conocimiento de la diversidad de especies, algunas están sesgadas geográficamente y tienen notables vacíos de información sobre la distribución espacial de los taxones. Más allá de las diferencias en la inversión realizada por grupo taxonómico, en todos los casos el conocimiento de la diversidad del país dista de ser especialmente homogéneo, ya que taxónomos, biólogos y recolectores visitan las mismas localidades varias veces, al tratarse quizá de lugares más accesibles (véase el anexo 2c de Escobar *et al.* 2009). Por ello, es necesario implementar proyectos de inventarios multitaxonómicos en aquellas regiones para las que no se cuenta con información. El diseño y desarrollo de estos trabajos debe permitir estudios comparativos de los patrones de diversidad de distintos taxones en diferentes escenarios ecológicos y biogeográficos.

Para lograr un balance adecuado de inversión se requiere una estrategia de evaluación periódica del desempeño de las bases de datos disponibles en términos del esfuerzo de muestreo medido como registros, tiempo o costos, que permita integrar la riqueza de especies conocida para cada grupo y superar la estructura espacial agregada de la información. Se debe notar que la repetición de visitas a las distintas localidades es fundamental para documentar la permanencia o ausencia de las especies en un determinado hábitat, que depende de la probabilidad de detectar cada especie (la cual está influida por sus restricciones de hábitat y capacidad de dispersión). Además, es fundamental tener datos actualizados, por lo que la redundancia de registros en una localidad es necesaria.

Uno de los indicadores del estado de salud del SNIB es la consulta de la información depositada en las bases de datos por parte del sector público y académico. Concretamente, las consultas por parte del sector gubernamental, en particular de la Semarnat (a la fecha más de 4 000 consultas a cerca de 60% del total de registros, aunque por medio de la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (Remib) se habían registrado

más de 200 000 visitas), es un signo inequívoco de la utilidad que puede tener la información para el manejo y la conservación de los recursos naturales. Sin embargo, es necesario un análisis específico del papel de dicha información en la toma de decisiones de conservación y gestión de los recursos naturales.

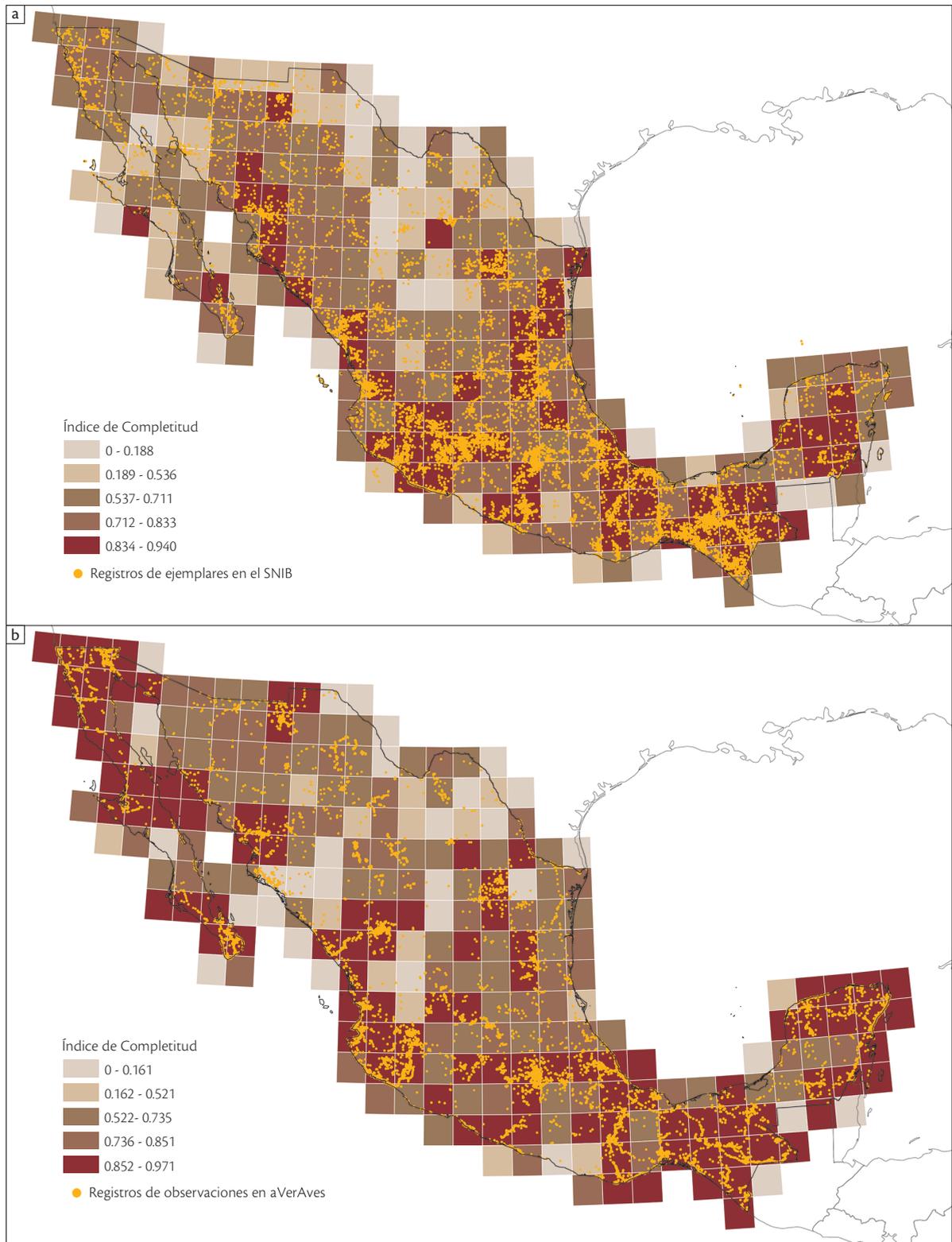
Tomando como base la inversión realizada hasta el momento, resulta preocupante el tiempo estimado para completar la incorporación al SNIB de las especies estimadas para algunos grupos taxonómicos (entre 34 y 80 años para el caso de hongos o entre 250 y 300 años para el caso de artrópodos), en particular si se consideran los niveles actuales de degradación y las tasas de transformación de los ecosistemas terrestres y acuáticos de México. Por lo tanto, la digitalización de las colecciones y los inventarios en campo deben tener como eje de planeación la evaluación periódica del SNIB y ejecutarse en un plazo razonable. Los avances en este sentido contribuirán sin duda al desarrollo de programas de monitoreo de los cambios derivados de la actividad humana.

Finalmente, será fundamental la concertación de las distintas instituciones (académicas y de gestión) para el desarrollo de una estrategia que permita en el mediano plazo avanzar de una manera más eficiente en el inventario nacional de la biodiversidad. Además, se debe contar con un sistema de indicadores del alcance y el beneficio del SNIB en la toma de decisiones de los diferentes sectores que integran el sistema ambiental, que permita en el mediano plazo la sustentabilidad en la gestión del capital natural de México.

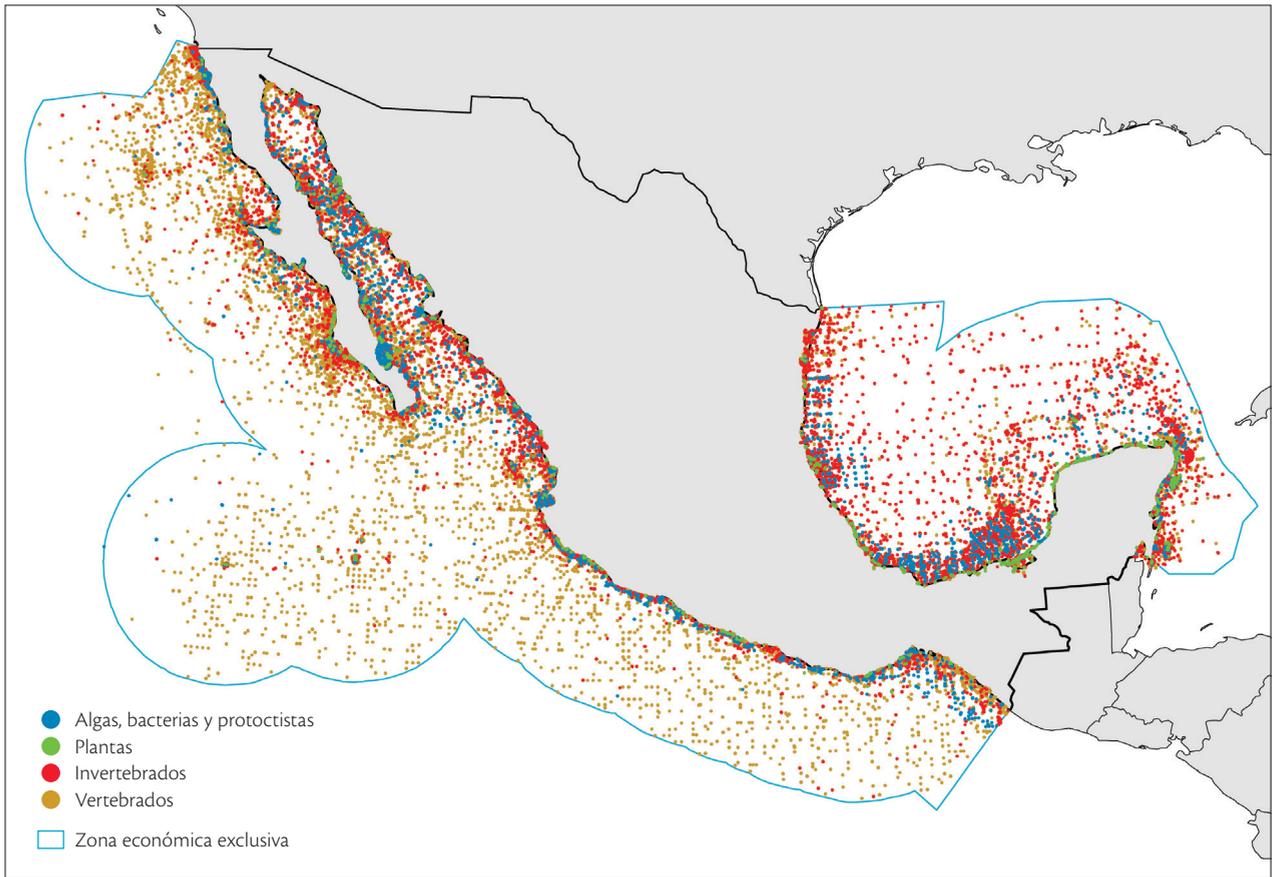
1 Síntesis de F. Escobar, P. Koleff y M. Rös. 2009. Evaluación de capacidades para el conocimiento: el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad como un estudio de caso, en CONABIO-PNUD (eds.). *México, capacidades para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad*. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, pp. 23-49, en <[www.biodiversidad.gob.mx/pais/MexCapacidades.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/MexCapacidades.html)>.

El incremento del conocimiento para México debe considerar la recolecta metódica y más uniforme de diversos taxones, pero de forma especial destaca que en el ámbito marino los esfuerzos que se requieren son mayores, debido al desconocimiento y la desatención que han tenido estos ambientes (Fig. 9.3, cuadro 9.2), y por ello vale la

pena destacar el notable esfuerzo del programa internacional Censo de la Vida Marina y su sistema de información sobre datos biológicos oceánicos, que incluye herramientas para visualizar patrones de diversidad e índices de completitud (OBIS 2015). Actualmente, el SNIB incluye los datos del GBIF (capítulo 5 y recuadro 5.4 de este volumen),



**Figura 9.2** Índice de completitud (ICE) **(a)** para datos de aves del SNIB (361 630 registros de 1 091 especies) **(b)** y de aVerAves (1 076 071 registros de 1 025 especies). Las zonas con prioridad para la actualización de inventarios avifaunísticos presentan valores bajos en el índice de completitud.



**Figura 9.3** Registros de la biodiversidad costera y marina de México en el SNIB a diciembre de 2014 (véase cuadro 9.2 y Fig. 5.2).

del cual OBIS es proveedor de datos. No obstante, cabe destacar la necesidad de seguir avanzando en la retroalimentación entre sistemas de información para facilitar a los usuarios la consulta de datos. También es notoria la falta de información sobre la diversidad en grupos como los microorganismos y hongos, y aquella presente en los suelos, que tienen un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas (capítulo 19 del volumen II).

Ahora bien, para lograr avanzar en la generación de información y conocimiento de la diversidad biológica de una localidad o región será fundamental consolidar redes de monitoreo que incluyan a miembros de la sociedad, lo que fomentaría la ciencia ciudadana, de modo que pueda llegar a ser una herramienta fundamental para la toma de decisiones informada, para fomentar una cultura de mayor aprecio a la biodiversidad y para tener datos en mayor magnitud espacial y temporal, usualmente muy costosos con otros esquemas. En ese sentido, es fundamental el trabajo multidisciplinario para la conceptualización y el desarrollo de los sistemas que permitan el acopio y ma-

nejo de los datos, la elaboración de manuales de identificación de especies y herramientas electrónicas novedosas que ayuden a usuarios no especialistas, la capacitación constante y la coordinación de las redes ciudadanas de monitoreo. Se deben aprovechar los avances en los estándares para el manejo de datos e información con los que contamos; ejemplo de ello son los portales desarrollados por la CONABIO, NaturaLista y aVerAves (recuadro 9.3).

Para otros niveles de la biodiversidad también se han señalado necesidades apremiantes. En el caso de las comunidades vegetales, desde hace tiempo se identificó la necesidad de establecer una clasificación consistente de los mapas de vegetación (capítulo 2 del volumen II). Hay avances al respecto para Norteamérica (CCA 2010; Colditz *et al.* 2012); sin embargo, aún no se cuenta con cartografía detallada de la cobertura del suelo desde una perspectiva de asociaciones vegetales (capítulo 19 del volumen I). En este nivel de la biodiversidad también hay sesgos en la investigación realizada en los distintos ambientes. Hendriks y Duarte (2008) analizaron 13 336 publicaciones relativas

**Cuadro 9.2** Registros costeros y marinos en el SNIB a diciembre de 2014 (véase Fig. 9.3)

Grupo		Número de ejemplares	Número de especies	Año de recolecta más antiguo	Año de recolecta más reciente	
Algas, bacterias y protoctistas		165 547	2 054	1888	2012	
Plantas	Angiospermas	2 589	29	1880	2012	
	Acantocéfalos	237	26	1891	2000	
	Anélidos	31 715	1 053	1888	2010	
	Cnidarios	22 477	372	1700	2012	
	Equinodermos	15 832	540	1854	2011	
	Equiueros	1	1	2002	2002	
	Moluscos	18 413	1990	1700	2011	
	Invertebrados (no artrópodos)	Nemátodos	1 503	194	1936	2009
		Platelmintos	1 543	336	1932	2007
		Poríferos	2 101	237	1886	1886
Quetognatos		2 238	15	1950	2007	
Rotíferos		1	1	2009	2009	
Sipuncúlidos		100	1	2002	2003	
Taliáceos		280	4	1997	2007	
Invertebrados (artrópodos)		Arácnidos	2 157	52	1987	2011
		Colémbolos	317	61	1977	2010
		Coleópteros	57	29	1962	1994
	Crustáceos	52 794	2 032	1700	2011	
	Himenópteros	1	1	1966	1966	
	Lepidópteros	245	36	1905	1995	
	Picnogónidos	41	9	1885	2009	
Vertebrados	Peces	119 175	2 007	1700	2012	
	Reptiles	2 070	10	1925	2011	
	Aves	42 841	158	1814	2013	
	Mamíferos	4 548	38	1818	2012	
<b>Total</b>		<b>488 823</b>	<b>11 286</b>			

**RECUADRO 9.3** LA CIENCIA CIUDADANA, UNA ESTRATEGIA CENTRAL PARA FORTALECER E IMPULSAR EL CONOCIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD DEL PAÍS

Esmeralda Urquiza-Haas

El término de ciencia ciudadana hace referencia a aquellos proyectos que involucran la participación del público general en una o más fases del desarrollo de la investigación científica (Jacobson *et al.* 2006). Los científicos ciudadanos son personas voluntarias que por lo general participan en la recolección de diversos tipos de datos de campo en estudios dirigidos por

investigadores (Cohn 2008). Aunque no se ha documentado con certeza, parece que los primeros antecedentes de ciencia ciudadana provienen de Inglaterra, de los llamados “esquemas de recolección” que fomentaban el monitoreo de una gran variedad de taxones y que han producido atlas de los que depende actualmente el gobierno inglés para establecer sus

**RECUADRO 9.3** [continúa]

estrategias de conservación (Jacobson *et al.* 2006). En Estados Unidos, el primer gran proyecto de ciencia ciudadana data de 1900, año en el que dio inicio el Conteo Navideño de Aves de la Sociedad Nacional Audubon, el cual continúa agregando voluntarios y que en los últimos años ha sumado entre 60 000 y 80 000 personas que observan aves durante un día en varios lugares durante el periodo comprendido entre el 14 de diciembre y el 5 de enero de cada año (Cohn 2008; Audubon 2013). Los investigadores del Laboratorio de Ornitología de Cornell comenzaron a usar datos de ciudadanos desde los años sesenta del siglo xx y a la fecha cuentan con múltiples proyectos en los que participan miles de voluntarios recolectando datos sobre observaciones de aves e incluso participando en el análisis de los mismos (Booney *et al.* 2009). Los datos recolectados por medio de estos proyectos han permitido conocer los cambios en la distribución de las poblaciones de aves a lo largo del tiempo y del territorio, el efecto del cambio en el medio ambiente sobre el éxito reproductivo de las aves, el modo en que las enfermedades infecciosas se dispersan en estas poblaciones y la manera en que la lluvia ácida las afecta, entre otros (véase Booney *et al.* 2009).

Los países que tienen actualmente el liderazgo en investigaciones basadas en ciencia ciudadana y monitoreo comunitario son Estados Unidos, Australia, India, Canadá y la Federación Rusa (Cohn 2008; Conrad y Hilchey 2011).

Aunque el principal ámbito de investigación de la ciencia ciudadana comenzó a gran escala con la identificación y el conteo de aves, ésta se ha ampliado para incluir estudios sobre el cambio climático, restauración ecológica, biología de la conservación, ecología de poblaciones, especies invasoras, entre otros (Silvertown 2009). La ciencia ciudadana también se ha difundido en varios países y existen esfuerzos supranacionales como el que representa actualmente EuMon (EU-Wide Monitoring Methods and Systems of Surveillance for Species and Habitats of Community Interest), enfocado en la evaluación del monitoreo de la biodiversidad, la estandarización de metodología y nomenclatura, y el intercambio de datos y experiencias de monitoreo ciudadano en 11 países de la Unión Europea (EuMon 2012). Otro ejemplo digno de mencionar es el proyecto sobre el Día Internacional de Monitoreo de Agua, el cual involucra 50 países en los que más de 80 000 participantes toman datos sobre oxígeno disuelto, transparencia, temperatura y pH de arroyos, ríos, lagos y estuarios del mundo (Schnoor 2007). El tipo de datos que se recolectan y el equipo que se utiliza para ello es cada vez más complejo y sofisticado. Por ejemplo, para el

proyecto MEGA-Transect, que da seguimiento a determinados cambios ecológicos a lo largo de la costa del Atlántico de Estados Unidos acerca del “Sendero de los Apalaches”, se pide a los voluntarios que recolecten información sobre el momento en que diferentes especies de árboles producen flores, rebrotes, hojas y semillas; el momento en que aparecen los polinizadores y aves migratorias; el pH de lagos, aguadas, riachuelos y pantanos, así como la medición y documentación de la contaminación del aire y agua (Cohn 2008). El monitoreo por parte de científicos ciudadanos incluye tanto especies de interés económico (*e.g.* en pesquerías o recursos forestales) como indicadoras de la salud de los ecosistemas (*e.g.* macroinvertebrados bentónicos, registros de cantos de aves, llamados de anfibios) (Conrad y Hilchey 2011). El tipo y enfoque del monitoreo es también muy variado (véase la revisión de Conrad y Hilchey 2011).

El creciente auge de la ciencia ciudadana es resultado de la disponibilidad actual de herramientas de información que facilitan la transferencia de datos y del reconocimiento por parte de cada vez más investigadores de que los voluntarios representan una fuerza de trabajo que disminuye los costos del proyecto y permite el acceso a más datos en una escala geográfica y temporal más amplia (Silvertown 2009). También se le atribuye a una mayor preocupación ciudadana sobre los impactos antropogénicos, la inquietud respecto a las capacidades gubernamentales para el monitoreo ecológico —aunado al recorte del gasto oficial en este rubro— y la necesidad de contar con información confiable para la toma de decisiones (Conrad y Hilchey 2011). Los programas de monitoreo e investigación de un creciente número de gobiernos, universidades y organizaciones de la sociedad civil dependen de la información recolectada por miles de voluntarios. Aunado a la recolección de datos para estudios científicos y el monitoreo de tendencias ambientales, la ciencia ciudadana tiene como objetivo promover la educación ambiental, el interés por la conservación, así como la comprensión del conocimiento científico y sus procedimientos entre la población (Oberhauser y Prysby 2008).

Uno de los problemas que enfrentan los científicos y los tomadores de decisiones con el uso de los datos recolectados por voluntarios es asegurar la validez de los datos obtenidos. Se ha observado que las principales fuentes de inconsistencias en los datos provienen de errores de identificación y observación, así como de errores que se dan como resultado de observaciones no aleatorias (Oberhauser y Prysby 2008). Un estudio realizado con la intención de determinar la confiabilidad de los datos proporcionados sobre comunidades

de polinizadores en diferentes sitios, por voluntarios capacitados en comparación con científicos profesionales, muestra una gran concordancia en los datos obtenidos por ambos grupos salvo en la identificación de determinadas especies o grupos de polinizadores, que fue siempre menor por parte de los voluntarios (Kremen *et al.* 2011).

Se ha tratado de minimizar los errores en la toma de datos mediante la capacitación y la información apropiada para los voluntarios en el uso de equipo y la toma de datos, la estandarización de los métodos de muestreo, la inclusión de medidas para validar la información obtenida en los protocolos de estudio y la eliminación de datos dudosos que claramente representan sesgos o anomalías respecto a los patrones de distribución normalmente observados por especialistas de este tipo de datos y la revisión de observaciones inusuales (en forma automatizada y por expertos) (Lepczyk 2005; Schnoor 2007; Oberhauser y Prysby 2008; Silvertown 2009; eBird 2013). Aunque los datos recolectados gracias a la ciencia ciudadana tienden a ser cuestionados, su validez ha sido formalmente reconocida (Bhattacharjee 2005; Holck 2008) y su importancia reflejada en los resultados que ésta ha arrojado. Así, la información generada por el proyecto de Conteo Navideño de Aves representa la fuente primaria de datos para el conocimiento sobre los patrones migratorios y el estatus de conservación de las aves de Norteamérica, y el respetado *Atlas de aves australianas* ha sido posible sólo gracias a los 5.5 millones de datos proporcionados por observadores aficionados a las aves (Schnoor 2007). Los esquemas de monitoreo ciudadano cobran gran relevancia en la actualidad ante los compromisos adquiridos por varios gobiernos en materia de conservación de la biodiversidad (Holck 2008), que han ocasionado una importante demanda de datos sobre el estado de la misma que sólo puede ser cubierta mediante este tipo de esquemas (Bell *et al.* 2008).

El impulso de la ciencia ciudadana en México es muy reciente y se cuenta con un número pequeño de proyectos que la integran en alguna de sus fases. Uno de los ejemplos es el implementado por la organización civil Profauna, la cual organizó un proyecto para maestros y estudiantes de monitoreo de mariposas monarca a lo largo de su ruta migratoria en México (Oberhauser 2006). Aficionados a la observación de aves también se han sumado al Conteo Navideño de Aves de la Sociedad Nacional Audubon que desde hace casi una década se lleva a cabo en México, principalmente en los estados del norte (COAX 2010). Otro proyecto destacado es el implementado por la organización civil Comunidad y Biodiversidad (Cobi), que en conjunto con las comunidades de Cabo Pulmo y Ligüi, algunas asociaciones

civiles (Amigos por la Conservación de Cabo Pulmo, RARE, Eco Alianza y Reef Check), la dirección del Parque Nacional Cabo Pulmo (PNCP) y la dirección del Parque Nacional Bahía de Loreto (PNBL) realizan el monitoreo de los arrecifes en zonas núcleo (no afectadas por la pesca) y zonas de uso fuera del Parque Nacional Bahía de Loreto y el Parque Nacional Cabo Pulmo (Hernández *et al.* 2010). Este proyecto de monitoreo ciudadano que involucra el censo de peces, de invertebrados y otros indicadores ecológicos, cumple con dos objetivos principales: a) evaluar el impacto antropogénico y el efecto de los decretos de protección en la salud de los ecosistemas marinos, y b) promover la responsabilidad ciudadana en el conocimiento del estado de los recursos naturales en sus localidades, así como fomentar una mayor comprensión del alcance de las actividades humanas sobre los mismos (Hernández *et al.* 2010). También, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) ha aprovechado el interés de ciudadanos para avanzar en el programa de monitoreo de peces arrecifales del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, que se inició en 2003 con el apoyo de 24 voluntarios —entre ellos maestros, prestadores de servicios y buzos (previamente certificados por medio de un curso de capacitación para la identificación de peces y corales)—. El monitoreo de peces con apoyo de los voluntarios ha permitido la descripción de las características y del comportamiento estacional anual de las poblaciones ictiológicas; sin embargo, se aprecia aún una participación menor a la esperada, por lo que se estima necesario idear estrategias para alentar a los voluntarios a tener una participación constante (SIMEC 2010).

El proyecto de mayor envergadura realizado hasta hoy es el llamado aVerAves, que es la versión en español del programa eBird desarrollado por el Laboratorio de Ornitología de Cornell y la Sociedad Nacional Audubon de Estados Unidos, en colaboración con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). aVerAves nació con el objetivo de proporcionar a científicos, manejadores de fauna, educadores ambientales y aficionados una herramienta por medio de la cual se pueda conocer la distribución de aves nacionales y migratorias, así como sus patrones de movimiento a lo largo del país. La información proporcionada por los participantes del proyecto ayudará a determinar rutas migratorias, áreas de invernación y de reproducción, expansiones o disminuciones de las áreas de distribución de las especies, entre muchos otros datos de utilidad. Éstos no sólo servirán para generar conocimiento básico, sino que pueden ser de utilidad para diseñar planes de manejo y estrategias de recuperación para especies amenazadas o en peligro de extinción (aVerAves 2013). Los

**RECUADRO 9.3** [concluye]

interesados en participar simplemente tienen que abrir una cuenta propia en la página *web* del proyecto y llenar un formulario al añadir cada observación realizada.<sup>1</sup> El equipo necesario para observar aves consta de unos binoculares, cámara fotográfica, libreta de apuntes y una guía de campo. La guía de campo es necesaria para realizar la identificación de las especies observadas, para lo cual se ha puesto a disposición un catálogo electrónico de aves en la página de *avesmx.net*, que permite la búsqueda de especies por criterios regionales (e.g. áreas de importancia para la conservación de las aves, áreas naturales protegidas, entidades de la República y biomas), nombre científico o una combinación de múltiples criterios (taxonomía, endemismo, y estado de conservación nacional o global). El proyecto aVerAves contaba en 2013 con 3 000 usuarios de 35 países y por lo menos 679 son mexicanos. En conjunto han colaborado en 63 026 listados de aves (1 520 160 registros) desde 2004 hasta abril de 2013, de cerca de 97% de las especies que alguna vez se han registrado en México (Gómez de Silva y Pérez Villafana 2013).

Un proyecto reciente llamado Naturalista fue desarrollado por la CONABIO en colaboración con *iNaturalist.org*. Éste funciona como una red social que permite a los usuarios registrar y compartir observaciones de plantas, algas, hongos y animales. Cada registro está compuesto por una foto, la ubicación geográfica del sitio de la observación, la fecha y el nombre del taxón (por nombre común o científico, en lo posible hasta el nivel de especie). El sitio cuenta con un grupo de curadores voluntarios que junto con los demás usuarios ayudan a identificar o confirmar la identidad de los organismos registrados. Además, contiene información sobre la distribución y biología de las especies a partir de vínculos con otras páginas *web* (CONABIO, *Encyclopedia of Life*, Wikipedia), junto con información relevante (por ejemplo, si están enlistadas en alguna categoría de riesgo de extinción o si se trata de especies exóticas invasoras). Esta plataforma es una herramienta dinámica, gratuita y fácil de usar por medio de la página *web* y su aplicación para teléfonos inteligentes y ha generado un gran número de observaciones de la flora y fauna del país. En mayo de 2016 contaba con 203 608 observaciones de 12 962 especies aportadas por 4 495 observadores (Naturalista 2016).

Aunque estos proyectos representan un avance para la ciencia ciudadana en México, se requiere un mayor esfuerzo por parte de instituciones de enseñanza, asociaciones civiles y dependencias de gobierno para promover de manera más amplia y activa la participación ciudadana en el monitoreo de la biodiversidad, sobre todo si se considera que México es un

país megadiverso y que sus necesidades de información son muy grandes.

Danielsen *et al.* (2009) proponen cinco categorías de monitoreo basadas en el nivel de participación ciudadana o comunitaria en el diseño, colecta de datos, análisis y uso de la información de los programas de monitoreo de la biodiversidad: 1] diseñado y ejecutado por profesionales y promovido por agencias externas, 2] promovido por agencias externas con participación local en la toma de datos, 3] colaborativo con el diseño e interpretación de datos por parte de profesionales y toma de datos por parte de actores interesados locales, 4] colaborativo con toma e interpretación de los datos por parte de actores interesados locales con el apoyo de profesionales, 5] local autónomo, todos los pasos del monitoreo se llevan a cabo por los actores interesados locales. Cada una de estas categorías de monitoreo implica costos y utilidades distintas tanto para las agencias exteriores como para las comunidades locales, por lo que los autores exponen una serie de criterios que permiten definir los contextos en los que es mejor impulsar uno u otro esquema de monitoreo. Por ejemplo, proponen que un esquema del tipo externo (1 y 2) es más apropiado cuando el monitoreo requiere analizar información a gran escala y cuando hay una fuente de financiamiento garantizada a largo plazo, mientras que los esquemas colaborativos del tipo 3 y 4 son mucho más útiles cuando las poblaciones locales dependen de los recursos naturales locales y cuando la apropiación, el empoderamiento y el uso de la información para el manejo tienen una importancia similar a la del monitoreo científico.

Cabe recalcar que implementar una estrategia de ciencia ciudadana en México no sólo tendría un efecto positivo en el incremento de datos disponibles para el quehacer científico y la toma de decisiones, sino también implicaciones de gran alcance en lo que respecta a la educación científica y ambiental de la ciudadanía, la construcción de capacidades locales e incluso potenciales beneficios económicos para las localidades cercanas a los sitios de observación. Respecto a este último punto resalta que la observación de aves en México, principalmente por parte de extranjeros, dejó en 2006 una derrama económica de 23 859 548 pesos, mientras que la observación de ballenas y de tiburón ballena, una de 6.18 millones de pesos (Cantú *et al.* 2011). Esto es interesante pues aunque el ecoturista (*i.e.* observador de vida silvestre) tiene un gasto menor por día que el turista común, al final del viaje su derrama de recursos es mayor, pues tienden a participar en un mayor número de actividades y a permanecer un periodo más largo en el lugar (wto 2002).

Aunque son pocos los estudios que han evaluado el alcance de los proyectos de ciencia ciudadana en la actitud de los participantes hacia la ciencia y el medio ambiente, éstos indican que hay un efecto positivo como resultado de su participación, incrementando no sólo el conocimiento técnico sobre el tema en particular, sino el modo en que éste se genera y verifica (Brossard *et al.* 2005; Trumbull *et al.* 2000). Otros resultados también señalan que la población que participa en este tipo de proyectos tiene de inicio un conocimiento previo y una actitud hacia el medio ambiente distinta de la de la población general, por lo que no siempre es posible detectar cambios en estos parámetros como resultado de su participación (Brossard *et al.* 2005). Se ha observado también que los voluntarios (en el caso de Estados Unidos) tienden a contar con un mayor nivel de escolaridad y mayores ingresos que la población general (Greenberg 2000, Overdeest *et al.* 2004).

Especialmente relevantes son los hallazgos respecto al incremento de capacidades de los voluntarios en lo que se refiere a la búsqueda activa de información sobre el tema abordado en los proyectos ciudadanos, la transmisión del conocimiento adquirido hacia familiares y vecinos, mayor conciencia en el uso de recursos, mayor participación en las

discusiones públicas sobre el tema y aumento en la red de contactos sociales en torno a ese interés común (Overdeest *et al.* 2004).

Los convenios de colaboración entre universidades o instituciones públicas y escuelas representan un campo potencialmente fértil para el desarrollo de proyectos de ciencia ciudadana, pues se cuenta con el beneficio potencial de un cuerpo de voluntarios para la toma de datos en beneficio de la investigación, asociado a la comprensión y cambio de actitud hacia la ciencia y el medio ambiente por parte de los jóvenes participantes.

#### AGRADECIMIENTOS

En especial agradezco la valiosa colaboración de Humberto Berlanga, Víctor Vargas y Vicente Rodríguez, de CONABIO, y a Jeff Gerbracht, del Laboratorio de Ornitología de Cornell, por haber facilitado los datos sobre aVerAves.

---

<sup>1</sup> El manual de usuario de aVerAves se encuentra disponible en la página web de la CONABIO (CONABIO 2013).

a investigación en biodiversidad, de 1987 a 2005, y encontraron que desde que se introdujo el término biodiversidad ha habido un esfuerzo de investigación que ha crecido en forma exponencial; no obstante, 72% de la misma está restringida a ecosistemas terrestres y 40% al nivel de especies. Respecto al nivel genético de la biodiversidad, hay excelentes mecanismos y estándares para compartir la información (p.ej., GeneBank); sin embargo, actualmente no se cuenta con información genética para cerca de 99% del número de especies conocidas para el país (capítulo 19 del volumen I), situación que no es exclusiva de México; Hendriks y Duarte (2008) señalan que la investigación en diversidad genética de las especies en el mundo todavía representa un componente menor. No obstante, este tema debe tener especial importancia por las implicaciones para el manejo de los recursos alimentarios de los cuales México es centro de origen y diversidad genética. La variabilidad genética de una especie es un aspecto esencial para su adaptabilidad a la dinámica ambiental; por ejemplo, se predice que el cambio climático actual ocurre a una velocidad mayor, lo que implicará posiblemente que muchas especies no podrán migrar a refugios climáticos (Loarie *et al.* 2009), o bien habrá

condiciones ambientales “no análogas” a las cuales no sabemos qué especies tendrán tolerancia para adaptarse.

Un aspecto central sobre los datos y la información en cuanto a la biodiversidad tiene que ver con su acceso y utilidad a diversos usuarios, por lo que el CBD propuso crear mecanismos basados en internet (Clearing-House Mechanism, CHM). En ese aspecto podemos decir que México destaca como un país megadiverso que ha logrado desarrollar exitosamente su infraestructura en bioinformática (Laihonen *et al.* 2004). El campo de la bioinformática de la diversidad biológica ha evolucionado rápidamente en los últimos años y han aumentado las capacidades en muchos países (véase el capítulo 5 de este volumen).

No obstante que ha habido avances en México en cuanto a desarrollar y hacer disponible el conocimiento científico, una tarea pendiente de la mayor prioridad es integrar, evaluar y aplicar el vasto conocimiento etnobiológico del país, en particular para el manejo de los agroecosistemas. De Ávila Blomberg (capítulo 16 del volumen I) destaca que la investigación etnobiológica es desigual desde un punto de vista ecológico, ya que los estudios minuciosos de las últimas décadas evidencian la sofisticación del conocimiento taxonómico y ecológico de las sociedades indíge-

nas, lo cual pone en perspectiva la falta de investigaciones etnobiológicas profundas entre varios grupos culturales del país. Éste es el caso de las comunidades cuicatecas, ubicadas en el norte de Oaxaca en una zona de alta heterogeneidad ambiental y gran diversidad biológica, y las comunidades occidentales de la Meseta Purépecha y la Cañada de los Once Pueblos, en Michoacán. De Ávila Blomberg señala que no se conoce ninguna monografía etnobotánica o etnozoológica enfocada en la ancha franja de pastizales al oriente de la Sierra Madre Occidental, donde los grupos de cazadores y recolectores fueron desplazados por la ganadería desde el periodo virreinal; es más difícil explicar la escasa representación en la literatura de los matorrales xerófitos, el tipo de vegetación que cubre la mayor superficie en el país, y sobre todo es sorprendente que no exista una publicación extensa dedicada a alguna de las numerosas comunidades asentadas cerca de los bosques mesófilos de montaña, que sobresalen por su gran diversidad biológica. El tiempo apremia para registrar este conocimiento tradicional en varias lenguas y variantes dialectales que están enfrentando un proceso de pérdida inminente: chocholteco, ixcateco, afro-seminol, paipai, kiliwa, cucapá, kumiai, lenguas chontales de Oaxaca, motozintleco, lenguas mixeanas de Veracruz, chichimeco jonaz, matlazincá y tlahuica. Se necesita registrar con precisión el saber ambiental local para crear materiales pedagógicos más eficaces, de tal forma que en las comunidades que hablan español, y ante la pérdida de ese conocimiento en las generaciones más jóvenes, los niños puedan adquirirlo en la escuela y en los nuevos contextos de educación informal.

### 9.2.2 Factores de cambio antropogénico y estado de conservación de especies y ecosistemas

Sabemos que la actividad humana en los últimos dos siglos se ha convertido en un factor de cambio importante de la biodiversidad y los ecosistemas; la mayoría de los ecosistemas en el mundo han sido extensamente modificados por el hombre (MA 2005; volumen II de esta obra); el cambio antropogénico actual no se distingue del cambio natural sólo por su amplitud espacial, sino también por la tasa a la que ocurre. La Tierra está experimentando el inicio de la sexta extinción masiva: la tasa de extinción se estima entre 100 y 1 000 veces mayor<sup>1</sup> que cualquier otra en la historia de nuestro planeta; sin embargo, las estimaciones indican que este número podría ser mucho mayor cuando se toman en cuenta las especies amenazadas: estas cifras varían en un orden de magnitud dependiendo del grupo taxonómico analizado (Pimm

*et al.* 1995; Dirzo y Raven 2003; Ceballos *et al.* 2010; McCallum 2007). Se estima que en la actualidad más de 50% de las especies están siendo afectadas por las actividades humanas (McKinney y Lockwood 1999). No obstante, nuestro conocimiento sobre el estado y las tendencias de cambio de la biodiversidad es aún muy limitado, a pesar de importantes avances en la última década (MA 2005). En particular, no contamos con un panorama completo sobre las interacciones múltiples de los factores de cambio de la biodiversidad, es decir, la forma en que los factores directos responden a los indirectos, y las sinergias y retroalimentaciones negativas y positivas que se presentan entre los factores directos de cambio que intervienen de manera importante en el deterioro de la biodiversidad y la degradación y pérdida de importantes servicios ecosistémicos (capítulos 1 y 5 del volumen II).

En el ámbito mundial se ha evaluado de manera más completa el estado de conservación de las especies de apenas un puñado de los grupos taxonómicos mejor conocidos, como mamíferos, aves, anfibios, coníferas, cicaáceas (Baillie *et al.* 2004; Mace *et al.* 2005) y cactáceas (Global Cactus Assessment 2013). Asimismo, se encuentra pobremente documentada la pérdida de poblaciones de especies, que se estima representa el pulso de extinción biológica de mayor envergadura (Dirzo y Raven 2003), lo cual tiene implicaciones ecológicas, sociales y económicas importantes asociadas a la pérdida de diversidad genética de la especie y de recursos socialmente relevantes en el ámbito local y regional, así como a la reducción de la funcionalidad y resiliencia de los ecosistemas al simplificarse las comunidades bióticas (capítulo 19 del volumen II; Peters *et al.* 2003; Sáenz-Romero *et al.* 2003; List *et al.* 2010). En particular para México, el conocimiento sobre el estado de las poblaciones de la mayoría de las especies, incluso de los vertebrados, es aún muy limitado, por lo que es necesario incorporar otros criterios para determinar aquellos sitios y especies que requieren mayor atención para su conservación (capítulos 14 y 16 del volumen II). Para varias especies en riesgo de extinción se han realizado esfuerzos extraordinarios por generar la información necesaria que permita elaborar recomendaciones muy concretas para el manejo de su hábitat y la conservación de las mismas, con una visión amplia sobre los factores de presión y las acciones necesarias para frenar y disminuir los procesos que inciden en su capacidad de recuperación, así como proponer opciones para el desarrollo de capacidades con el fin de impulsar actividades productivas sustentables entre la población local (véanse los recuadros 9.4. y 9.5). Estos esfuerzos

### RECUADRO 9.4 MONITOREO DE AVES EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE, BASES PARA LA CONSERVACIÓN Y EL MANEJO SUSTENTABLE DE PASTIZALES

Arvind Panjabi • Humberto Berlanga

Los pastizales de Norteamérica han sufrido grandes transformaciones debido al cambio de uso del suelo para la ganadería y la agricultura. Se estima que actualmente se mantiene tan sólo 1% de la cobertura original de pastizales altos y 30% de la cobertura original de pastizales medianos y bajos (Guzmán-Aranda 2011; Woodin *et al.* 2010).

Las prácticas utilizadas para transformar el pastizal original para la ganadería han resultado en un cambio significativo en su estructura vegetal. Por ejemplo, la introducción de pastos exóticos como alimento para el ganado ha desplazado a los pastos nativos, que normalmente son más altos que los primeros. Además, el sobrepastoreo ha propiciado que especies arbustivas se vuelvan dominantes en los pastizales y en muchas ocasiones también ha resultado en la erosión del suelo. Por su parte, la agricultura resulta en una transformación casi completa del paisaje, además de que muchas veces propicia la extracción no sustentable de agua del subsuelo (Challenger 1998).

Desde hace más de 20 años se ha registrado un decremento en las poblaciones de aves de pastizal en Norteamérica (Thogmartin *et al.* 2006). Una de las causas principales de esta disminución poblacional es la degradación y pérdida del hábitat de estas especies; por ello, es urgente y prioritario realizar esfuerzos para lograr su conservación y recuperación. Se estima que aproximadamente 85% de las especies de aves de pastizales pasan el invierno en el Desierto Chihuahuense (Panjabi *et al.* 2010); esto hace que esta zona sea vital para estas especies. Por este motivo, ha sido fundamental contar con información del estado actual de las poblaciones, y de diversos aspectos de la ecología de las aves de pastizal, para identificar los factores que restringen su distribución y abundancia, y establecer así acciones para su conservación y recuperación.

#### MONITOREO DE AVES EN LA REGIÓN DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE

A partir de enero de 2007 el Rocky Mountain Bird Observatory (RMBO) comenzó un monitoreo de las aves migratorias de pastizales en el Desierto Chihuahuense con el objetivo de obtener información acerca de la distribución, abundancia, uso de hábitat y patrones de distribución espaciales y temporales (Fig. 1).

Los trabajos se han realizado cada año durante la temporada invernal (de noviembre a marzo). Se han utilizado fondos de más de 10 organizaciones y la participación de más

de 20 instituciones y organizaciones (universidades, OSC y agencias federales y estatales de Estados Unidos y México), incluyendo el Comité Trilateral para la Conservación de la Vida Silvestre y la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, las cuales reconocen los pastizales como un ecosistema prioritario para los tres países de Norteamérica. Además, en la instrumentación del trabajo de campo han participado aproximadamente 50 científicos, técnicos y voluntarios mexicanos, quienes han colaborado en la identificación y el muestreo de las aves, y en el trabajo con los dueños de la tierra.

El número de zonas de muestreo se ha incrementado cada año, de manera que en 2011 se cubrieron 16 áreas prioritarias para la conservación de los pastizales en el Desierto Chihuahuense entre Estados Unidos y México (Fig. 2) (véase Macías-Duarte *et al.* 2011). Esta información se ha sintetizado en 12 reportes y manuales dirigidos a las instituciones y a los grupos de interés, así como en publicaciones científicas. Los manuales describen las ventajas de mantener la diversidad de las aves de pastizal (principalmente como control de plagas), incluyen recomendaciones de manejo sustentable para los pastizales, información biológica de las especies de aves de la zona e información acerca de los programas oficiales que ofrecen apoyo técnico para el buen manejo de los pastizales. Entre otros se encuentran el manual titulado *Compartiendo sus agostaderos con las aves del pastizal* (Duarte *et al.* 2011) y la *Guía de bolsillo para aves de pastizal del Desierto Chihuahuense* (Panjabi *et al.* 2008).

#### INFORMACIÓN CIENTÍFICA PARA EL MANEJO Y LA CONSERVACIÓN DE LAS AVES DE PASTIZAL

Los resultados de este estudio han revelado las preferencias de hábitats y la variación en la abundancia de las aves, principalmente por el cambio de uso del suelo. Éstos se han utilizado para proponer estrategias de manejo de los pastizales para la conservación de las poblaciones de aves, que además se consideran como un buen indicador del estado de salud de los ecosistemas.

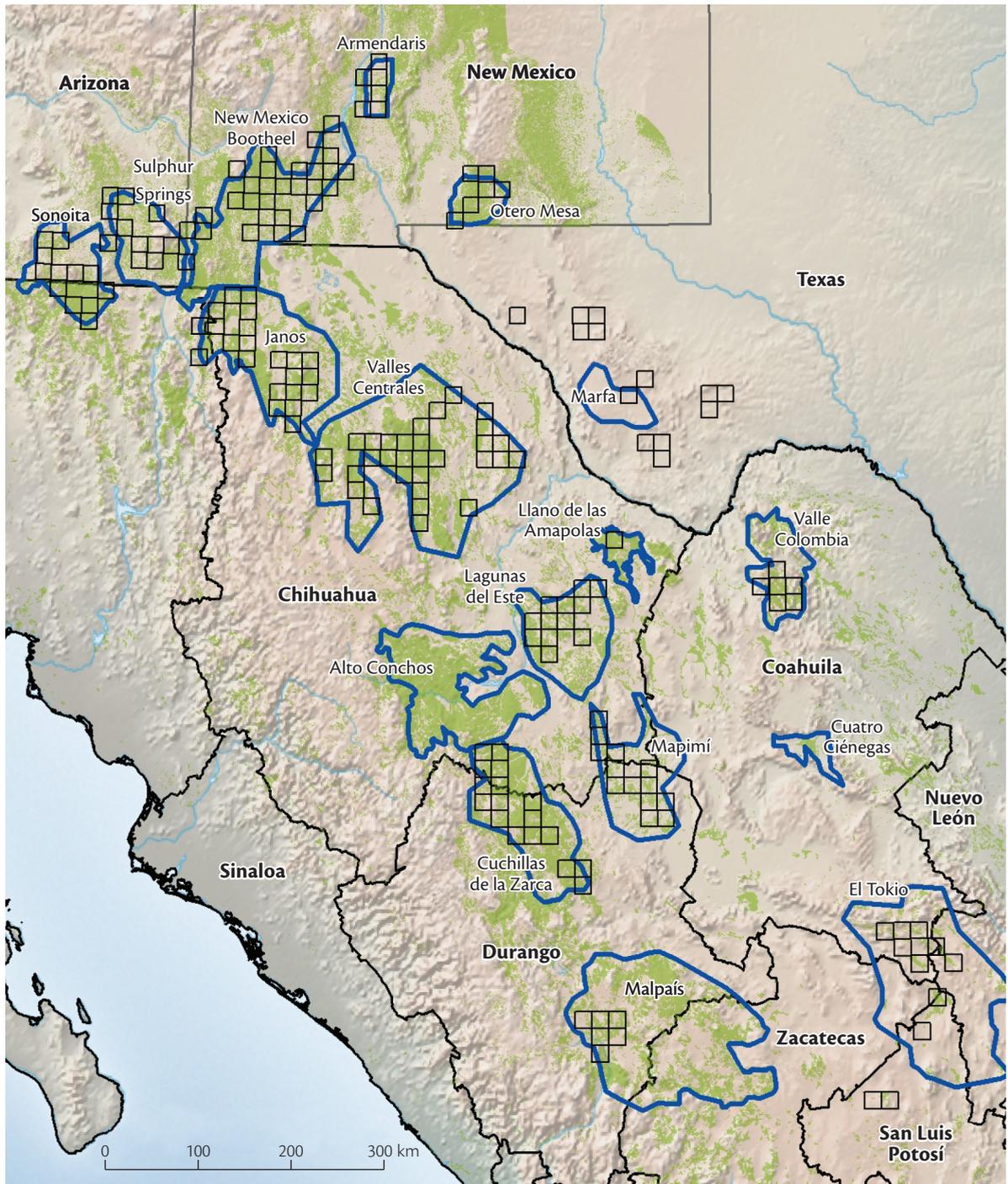
#### *Manejo integral de los pastizales*

Se propone crear una red amplia de pastizales protegidos por diversos instrumentos de conservación, en combinación

RECUADRO 9.4 [continúa]



**Figura 1** (a) Ejemplo de un pastizal en los sitios de estudio y (b) algunas especies registradas durante los monitoreos de RMBO en los pastizales del Desierto Chihuahuense: 1] halcón fajado (*Falco femoralis*), 2] verdugo americano (*Lanius ludovicianus*), 3] gorrion de cejas blancas (*Spizella passerina*), 4] gavilán rastrero (*Circus cyaneus*), 5] gorrion chapulín (*Ammodramus savannarum*) y 6] zarapito pico largo (*Numenius americanus*) [fotos: (a) Arvind Panjabi; (b) 1] José Roberto Rodríguez Salazar; 2] a 6] José Hugo Martínez].



- Áreas de pastizal prioritarias para la conservación en el Desierto Chihuahuense
- Zonas de muestreo de aves en 2011
- Extensión de los pastizales

**Figura 2** Áreas de pastizal prioritarias para la conservación en el Desierto Chihuahuense (tomado de Macías-Duarte *et al.* 2011).

**RECUADRO 9.4** [concluye]

con pastizales destinados a otras actividades productivas, que operen de acuerdo con esquemas de buen manejo y prácticas mejoradas. Sabemos que el uso del hábitat por parte de muchas especies de aves puede comprender distintas áreas en un mismo año, y que éstas pueden variar entre años. Con este trabajo hemos podido documentar áreas de pastizal con alta diversidad de aves fuera de los límites de las áreas protegidas, las cuales, actualmente, están siendo rápidamente transformadas por las actividades agrícolas (Levandoski *et al.* 2008). Esta situación es grave toda vez que estos ecosistemas se encuentran subrepresentados en el sistema de áreas protegidas, debido en gran parte a que históricamente hubo un mayor énfasis en proteger las tierras altas y no se establecieron áreas protegidas con la finalidad explícita de proteger los pastizales naturales (Pacheco *et al.* 1999-2000; Koleff y Urquiza-Haas 2011).

*Incrementar la cobertura de los pastizales*

La estructura de la vegetación influye de manera determinante en la distribución de estas aves. Algunos estudios han encontrado que la presencia de plantas arbustivas restringe la abundancia de muchas aves migratorias y que una cobertura del suelo con pastos menor de 30% no es suficiente para mantener a muchas de las aves en la región. Estos resultados han llevado a recomendaciones puntuales para incrementar la cobertura de los pastos y disminuir la de los arbustos. De manera general, se sugieren dos acciones de manejo: reducir la cobertura arbustiva por algún medio mecánico, químico o por quemas prescritas y controladas (cada ocho a 10 años), y promover la aplicación de prácticas de buen manejo para el pastoreo.

El buen manejo del pastoreo implica varias prácticas, entre las que se pueden mencionar un número adecuado de animales para la zona que evite el sobrepastoreo (existen programas de capacitación para determinar este número, véase Duarte *et al.* 2011) y mantener varias intensidades de pastoreo con rotación estacional; por ejemplo, disminuir el pastoreo en la época de lluvias para permitir que los pastos crezcan; dejar algunos potreros sin pastoreo o con pastoreo ligero durante el verano y el otoño, y dejar ciertos potreros sin pastoreo del verano al invierno para no afectar los nidos de algunas especies. Todo esto, además de favorecer la diversidad y abundancia de aves de pastizal (hábitat de calidad), resultará en un mejor rendimiento del ganado.

*Rehabilitación de áreas degradadas*

A fin de recuperar la productividad de algunas zonas se pueden llevar a cabo medidas de rehabilitación, como la siembra de pastos nativos y la construcción de bordos. Esto ayudaría a disminuir la pérdida de agua y la erosión del suelo. A largo plazo será necesaria la aplicación de medidas efectivas de ordenamiento del territorio que favorezcan la conectividad entre áreas manejadas, áreas protegidas y áreas restauradas para recuperar la conectividad y funcionalidad de los pastizales.

## ESTUDIOS Y ANÁLISIS FUTUROS

Este esfuerzo colaborativo de monitoreo de aves a gran escala y de largo plazo está generando información valiosa que permitirá explorar la influencia del cambio climático en su distribución espacial y temporal, así como en la abundancia de sus poblaciones (Pool *et al.* 2012), de ahí la importancia de darle continuidad y expandirlo en la medida de lo posible. A partir de 2009 se comenzaron a hacer estudios de telemetría con algunas especies que han permitido caracterizar con más detalle sus parámetros ecológicos y entender mejor cómo afectan las diferentes presiones (cambios de vegetación, depredación, etc.) su supervivencia durante el invierno.

## REFLEXIONES FINALES

Contar actualmente con un conjunto de prioridades y objetivos claros, así como con una serie de recomendaciones concretas para la conservación de las aves de pastizal y, en general, para mejorar las prácticas de manejo de los pastizales, que pueden ser adoptadas y promovidas por diferentes sectores del gobierno federal y estatal, así como por los dueños y administradores de los predios, es el resultado de más de ocho años de investigación y trabajo en campo, así como de procesos de capacitación y coordinación interinstitucional en los ámbitos nacional e internacional.

Los pastizales albergan una gran diversidad de fauna silvestre (Pacheco *et al.* 1999-2000), además de brindar importantes servicios ecosistémicos, como la retención de suelos, la captura de carbono y la recarga de acuíferos (Guzmán-Aranda *et al.* 2012). Por lo anterior es necesario detener, regular y revertir la rápida transformación de estos ecosistemas para el uso agrícola y pecuario, porque en la actualidad las prácticas productivas se hacen de manera

ineficiente y no sustentable, por ejemplo, propiciando la apertura de numerosos pozos que sobreexplotan el agua. Es urgente promover programas y acciones coordinadas para la conservación y el manejo sustentable de los pastizales nativos fortaleciendo la vinculación entre sectores (agua, agricultura, ganadería, biodiversidad, desarrollo social, etc.), porque los pastizales, además de proporcionar invaluable servicios ambientales y productivos, son el hábitat indispensable para mantener las poblaciones muchas especies de aves residentes

y migratorias, así como muchas otras especies de flora y fauna, incluyendo especies prioritarias como el berrendo, el bisonte, el águila real y el halcón aplomado.

#### AGRADECIMIENTOS

A Sylvia P. Ruiz González, por preparar la versión preliminar de este recuadro, con base en las publicaciones y los reportes previos.

### RECUADRO 9.5 INFORMACIÓN CIENTÍFICA Y CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES HUMANAS, BASE PARA DECISIONES DE CONSERVACIÓN DE LA VAQUITA

Lorenzo Rojas Bracho • Armando Jaramillo Legorreta • Gustavo Cárdenas Hinojosa

La vaquita es el cetáceo en mayor peligro de extinción en el mundo y es la única especie de mamífero marino endémica de México. Su distribución actual, y probablemente histórica, está limitada al Alto Golfo de California y parte del Golfo Norte, en un área aproximada de 4 000 km<sup>2</sup> (Fig. 1). La vaquita está clasificada dentro las categorías más críticas de las especies en peligro por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), la Ley de Especies en Peligro de Extinción, la Ley de Protección de Mamíferos Marinos del gobierno de Estados Unidos y la Norma Oficial Mexicana 059 de la Semarnat. Recientemente fue considerada por la UICN y la Sociedad Zoológica de Londres como una de las 100 especies en mayor peligro de extinción en el mundo (Baillie y Butcher 2012).

Es una de las tres especies de cetáceo de las que mejor conocimiento tenemos en aguas de nuestro país, junto con la ballena gris y la ballena jorobada. Más importante aún es el conocimiento científico que se ha desarrollado durante más de 20 años de investigación, el cual permite conocer los aspectos centrales de su biología poblacional y de los factores de riesgo, y es la base para la construcción de capacidades para la conservación de la vaquita.

#### CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES HUMANAS EN TORNO A LA CONSERVACIÓN DE LA VAQUITA

En términos generales, la construcción de capacidades en torno al manejo sustentable de las pesquerías y la conservación de la vaquita se dan a partir del desarrollo de redes (*networking*) y mediante el fortalecimiento de sistemas de gestión. Un claro

ejemplo de esto último es el Programa de Acción para la Conservación de la Especie-vaquita (véase PACE-vaquita, Semarnat 2008). En este escrito únicamente describiremos el primer caso, el de desarrollo de redes o *networking*.

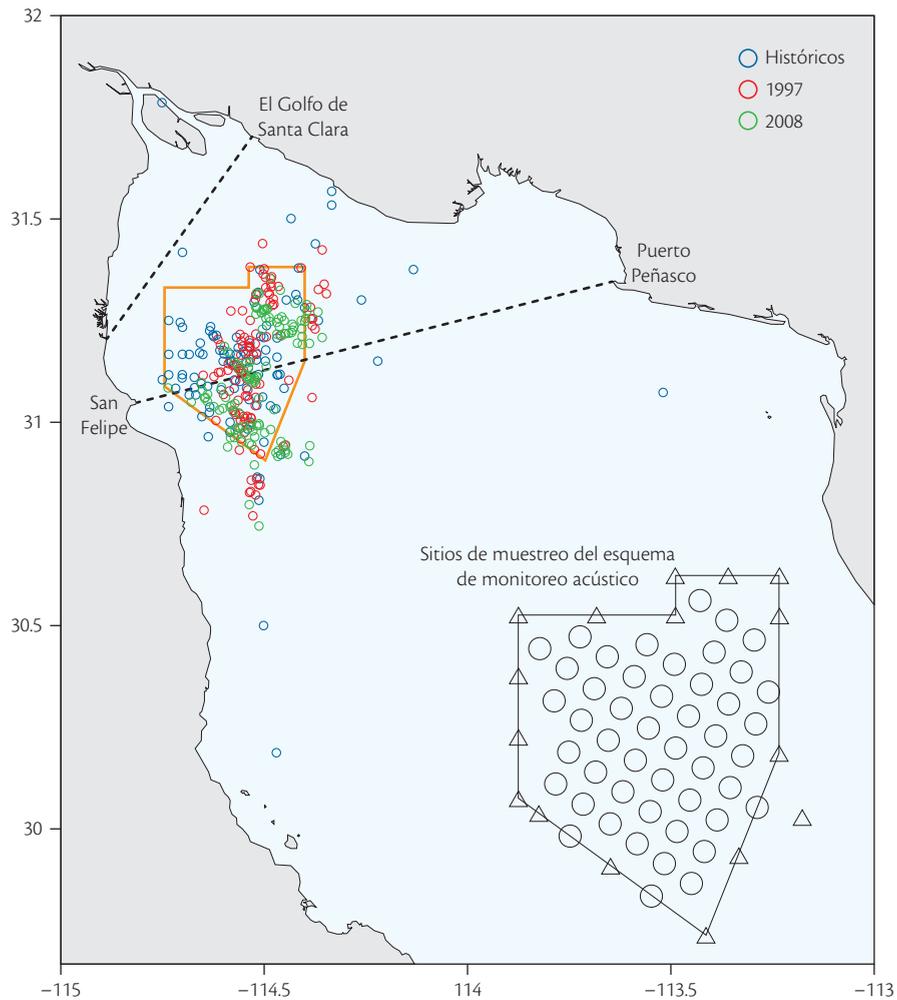
#### EL DESARROLLO DE REDES ENTRE DEPENDENCIAS DE GOBIERNO, LA SOCIEDAD CIVIL ORGANIZADA Y LA ACADEMIA: EL COMITÉ INTERNACIONAL PARA LA RECUPERACIÓN DE LA VAQUITA (CIRVA)

En 1997 el gobierno de México constituyó el Cirva. En él participan reconocidos científicos de Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Noruega y México, funcionarios del gobierno federal y organizaciones de la sociedad civil. El mandato del Cirva fue proponer un plan de conservación basado en la mejor evidencia científica, hacer recomendaciones de investigación y considerar los aspectos socioeconómicos en las medidas de conservación. El comité hizo una serie de recomendaciones, entre ellas sobre estimaciones del tamaño y la tendencia de la población de vaquita, la monitorización acústica, el análisis de factores de riesgo y las acciones para evitar la extinción de esta especie endémica de México.

#### ABUNDANCIA Y TENDENCIAS DE LA POBLACIÓN

En 1997 el Cirva recomendó llevar a cabo el primer crucero diseñado específicamente para conocer la abundancia de la vaquita y estimar su tamaño poblacional. El resultado de esta investigación conjunta con el Southwest Fisheries Science Center (swfsc) fue una población menor de 600 animales (567, intervalos de confianza (IC) de 95%, 177-1073; Jaramillo-Legorreta y Rojas-Baracho 1999). Once años después se llevó a

RECUADRO 9.5 [continúa]



**Figura 1** Distribución de la vaquita: representación de los registros de avistamientos históricos y de los obtenidos durante los cruceros de 1997 y 2008. En la figura también se muestra el esquema de monitoreo acústico de la vaquita en el Área de Refugio para la Protección de la Vaquita. Los triángulos representan los detectores acústicos anclados bajo las boyas que delimitan la reserva y los círculos los detectores acústicos en anclajes sumergidos.

cabo la Expedición Vaquita 2008, nuevamente con el swfsc. La estimación de la población fue de 245 individuos (ic de 95%, 68-884). Es decir, la estimación de 2008 era 57% menor que la de 1997, lo que representa una tasa de disminución en promedio de 7.6% al año (Gerrodette y Rojas-Baracho 2011). El resultado anterior coincide con el estudio llevado a cabo con métodos acústicos, siguiendo la recomendación del Cirva, prácticamente durante el mismo periodo (Jaramillo-Legorreta 2008). De 1997 a 2008 la tasa de detección acústica decreció

aproximadamente en 58%. Se debe subrayar que estos estudios con metodología diferente arrojaron casi el mismo resultado.

FACTORES DE RIESGO Y RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN

Para que los esfuerzos de conservación tengan éxito es necesario identificar los factores de riesgo y clasificarlos de

acuerdo con su importancia. Desde su descripción como especie se señaló el riesgo que las redes de pesca representaban para la vaquita (Fig. 2). Entre mediados de los años ochenta y los noventa se documentó la muerte incidental de 128 vaquitas (Vidal 1995). En 1993-1994 se hizo la primera estimación de muertes incidentales en redes agalleras (D'Agrosa *et al.* 2000). Los autores concluyeron que la mortandad era de al menos 39 vaquitas/año solamente para uno de los dos puertos pesqueros en el Alto Golfo de California: el Golfo de Santa Clara.

Al igual que la falta de flujo del río Colorado, otros factores como la contaminación del mar y la depresión endogámica fueron descartados en un análisis de factores de riesgo. En el caso particular de la disminución de flujo del Colorado, cabe mencionar que no ha sido posible demostrar que la productividad actual afecte las tasas vitales de la población de vaquita (p. ej. tasa de sobrevivencia). Por lo tanto, el comité concluyó que la mortandad incidental en redes agalleras es el factor de riesgo más serio para la sobrevivencia de los individuos (Rojas-Bracho y Taylor 1999; Rojas-Bracho y Jaramillo-Legorreta 2009). El Cirva recomendó que para evitar la extinción de la vaquita era necesario reducir a cero la captura incidental tan pronto como fuese posible. Después de analizar una serie de medidas de mitigación (p. ej., cierres temporales de áreas a la pesca) el comité concluyó que la única medida que daría una alta probabilidad de evitar la extinción de la especie era la eliminación de las redes agalleras de toda su área de distribución. Por ello también recomendó la adopción de medidas para aliviar o compensar las dificultades económicas impuestas a los residentes locales por los cambios forzados en sus prácticas de pesca, como sistemas de compensación, provisión de medios de vida alternativos, desarrollo de artes de pesca alternativas, a fin de que la pesca continuara con poco o

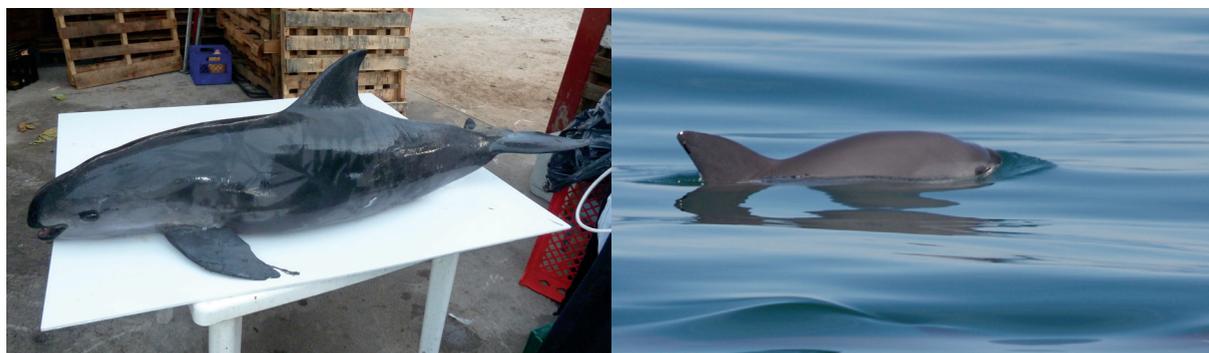
ningún riesgo de captura incidental (Rojas-Bracho *et al.* 2006; Rojas-Bracho y Jaramillo-Legorreta 2009).

#### MONITOREO ACÚSTICO

Parte central de cualquier plan de recuperación de especies es el monitoreo de la población para evaluar el nivel de éxito de las acciones de conservación. El objetivo principal de la Expedición Vaquita 2008 fue precisamente diseñar un programa acústico para monitorear la tendencia de la población de vaquita, ya que, a diferencia de otros cetáceos, emite señales de alta frecuencia y banda estrecha. En la expedición participaron expertos del Reino Unido, Japón, Estados Unidos y México. Después de experimentar con diferentes equipos acústicos, el de mejor desempeño fue el conocido como C-POD. Para diseñar el programa de monitoreo se constituyó un grupo directivo que planeó un esquema de trabajo, que incluyó periodos de prueba y un programa piloto para probar los anclajes e instalar los detectores acústicos, de manera que se disminuyera en la medida de lo posible la pérdida de detectores acústicos por mal tiempo y actos vandálicos. Considerando lo anterior, el número de C-POD que se utilizan en el programa se estimó, mediante modelos cuantitativos, en 64 C-POD por 100 días cada uno (Fig. 1) (Rojas-Bracho *et al.* 2010).

#### COMISIÓN PRESIDENCIAL PARA LA RECUPERACIÓN DE LA VAQUITA

La creación de esta comisión es otro ejemplo de *networking*. La administración federal la constituyó el 5 de febrero de 2013. Está integrada por investigadores, funcionarios gubernamentales, representantes de la sociedad civil, de las



**Figura 2** Izquierda, espécimen de vaquita capturado en un chinchorro de línea en 2010 (foto: Gustavo Cárdenas Hinojosa). Derecha, vaquita fotografiada durante la Expedición Vaquita 2008 (foto: Thomas A. Jefferson).

**RECUADRO 9.5** [concluye]

comunidades pesqueras y de las cámaras de Diputados y Senadores. El objetivo es eliminar en poco tiempo las redes agalleras y de enmalle en toda el área de distribución de la vaquita y establecer un programa de fomento que compense a los pescadores.

Se debe mencionar, aunque sea brevemente, el PACE vaquita, que ha representado la construcción de capacidades

en el fortalecimiento de sistemas de gestión para la vaquita. Este programa ha sido reconocido internacionalmente por haber logrado la disminución del esfuerzo pesquero con redes agalleras y, con ello, evitar la extinción de la vaquita. El siguiente paso es eliminar las redes agalleras y permitir, así, la recuperación de esta especie de México. Sin embargo, los resultados concretos de este esfuerzo están aún por verse.

de monitoreo deben multiplicarse, principalmente para las especies más vulnerables (con criterios sólidos y comparables) y también con el fin de evaluar de manera adecuada la sostenibilidad del aprovechamiento de autoconsumo y comercial de la biodiversidad, tanto de productos forestales no maderables como de fauna silvestre y de las pesquerías (cuadro 9.1), para lo cual es necesario conocer los volúmenes extraídos respecto a la dinámica poblacional de las especies aprovechadas y contar con proyectos de monitoreo de largo plazo. Sin embargo, sabemos que el monitoreo es costoso y hay pocos proyectos consolidados o en proceso de largo plazo enfocados a especies silvestres (p. ej., para aves: Palacios y Alfaro 2005; mariposa monarca: Rendón-Salinas y Tavera-Alonso 2013; tiburón ballena: Ramírez-Macías *et al.* 2012; tortuga laúd: Sarti 2004; cocodrilo de pantano: Sánchez-Herrera *et al.* 2011).

Tanto en la *Evaluación de los ecosistemas del milenio* como en los tres primeros volúmenes de esta obra se destaca particularmente la casi completa falta de información sobre el estado de conservación y las tendencias de cambio para numerosos grupos taxonómicos de hongos, invertebrados y microorganismos, así como de la mayoría de las especies de hábitats acuáticos, tanto continentales como marinos (véase el cuadro 9.1). Se estima que menos de 10% de las especies conocidas globalmente han sido evaluadas con relación a su estado de conservación. En el caso de las plantas vasculares, el porcentaje es de apenas entre 2 y 5% de las especies del mundo (Hassan *et al.* 2005; Lughadha *et al.* 2005; Mace *et al.* 2005). De las especies evaluadas que se encuentran en riesgo, éstas han sido incluidas en las llamadas listas rojas principalmente debido a la sobrexplotación a la que han estado sujetas, y si se toman en cuenta la degradación ambiental y otros factores que amenazan su supervivencia, requieren un conocimiento detallado del estado de sus poblaciones y hábitats. Si consideramos las especies mexica-

nas enlistadas como en riesgo por las listas nacionales NOM-059-SEMARNAT-2010 (Semarnat 2010) e internacionales (UICN-2010), aquellas amenazadas por el tráfico ilegal (CITES-2010) y las que la Conanp (2010) y la Semarnat (2014) han definido como especies prioritarias, esta selección incluye al menos 6 100 taxones (especies y subespecies) de los grupos mejor estudiados (CONABIO 2010; Semarnat 2014).<sup>2</sup>

Hay además otras especies de importancia social, cultural y económica de uso arraigado, que aunque no han estado en alguna de las llamadas listas rojas, requieren conocimiento básico para su recuperación en vida silvestre y su aprovechamiento. Un ejemplo es el catán (*Atractosteus spatula*), que ha sido “rescatado” gracias al decidido esfuerzo de un puñado de investigadores por desarrollar la investigación necesaria a fin de sentar las bases para su aprovechamiento sustentable (véase el recuadro 9.6).

Nuestra comprensión acerca de la magnitud del cambio en todas sus dimensiones se encuentra seriamente limitado por la falta de información en series cronológicas de datos comparables (Mace *et al.* 2005). No existe información adecuada en todo el país para analizar las diferentes facetas de la biodiversidad a escalas pertinentes, como las tendencias de cambio con base en indicadores que incluyan la magnitud y consecuencias de la degradación y fragmentación del hábitat, la alteración en la composición de especies y de los procesos ecológicos, entre otras (capítulo 1 del volumen II). Ejemplo de ello es que no contamos con información en series temporales largas, sistematizadas y estrictamente comparables para medir parámetros básicos, como cambios en la cobertura vegetal y la tasa de deforestación por bioma, ecorregión o país. A pesar de ello, cabe mencionar que las cartas de uso del suelo y vegetación han sido muy útiles en las evaluaciones nacionales y estatales, así como en la

**RECUADRO 9.6 EL CATÁN: RESCATE DE UN RECURSO ACUÍCOLA**

Roberto Mendoza Alfaro • Carlos Aguilera

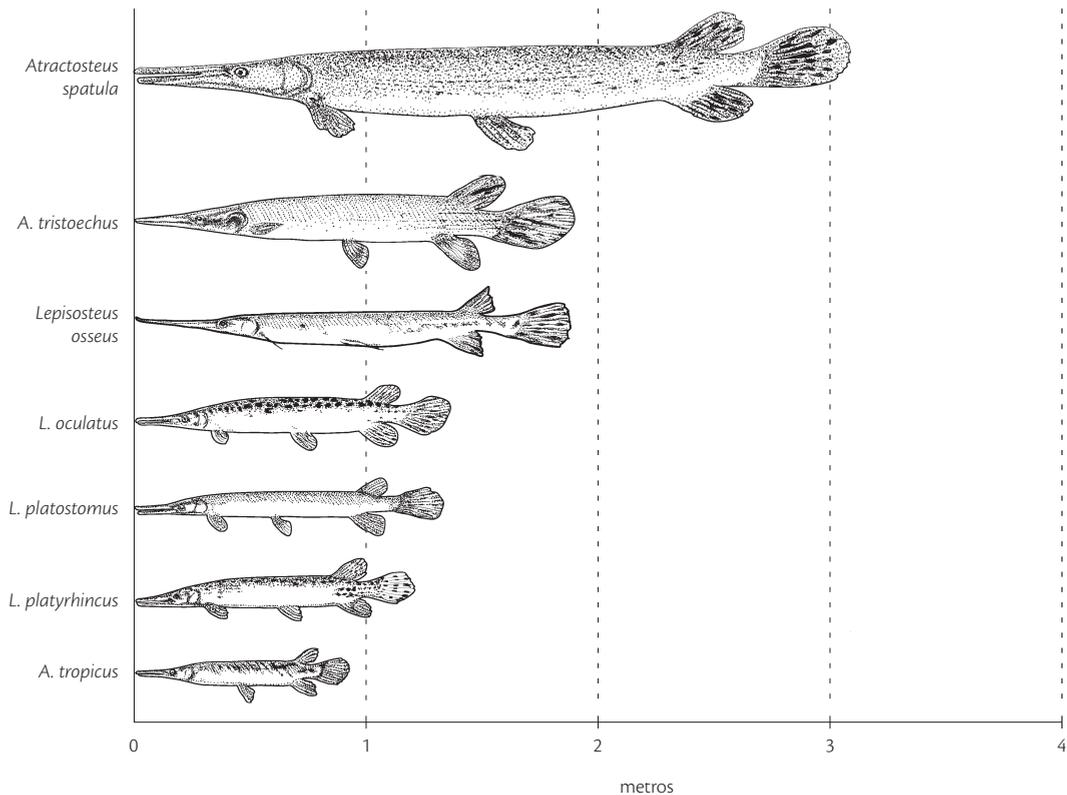
Para atender los problemas sociales y económicos que representa la pérdida de un recurso se requiere una base científica que sirva de punto de partida para la elaboración de medidas eficaces para su conservación y aprovechamiento.

El catán (*Atractosteus spatula*) es el pez de mayor tamaño que habita en las aguas continentales de México. Pertenecer a la familia Lepisosteidae, al igual que otras especies de importancia acuícola como el pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) (Fig. 1). Se trata de una especie pancrónica (i.e. data de hace 180 millones de años) que habita la región noreste del país, donde ha sido capturada tradicionalmente por ser muy apreciada como alimento y en la pesca deportiva (Rosas 1976; García de León *et al.* 2001). Como consecuencia de la sobrepesca comercial y deportiva, las poblaciones de catán declinaron drásticamente, al grado de desaparecer en varias localidades del estado de Nuevo León (Sagarpa 2006). Gracias a la investigación multidisciplinaria se ha obtenido la información necesaria para su conservación y aprovechamiento (Mendoza *et al.* 2010; cuadro 1).

**ESTADO ACTUAL DE LAS POBLACIONES DEL CATÁN**

El catán se distribuye desde los Grandes Lagos en Estados Unidos hasta la vertiente del Golfo de México, en el estado de Tamaulipas. Cuenta con un mercado bien establecido en el que su carne es apreciada por su calidad; además, estos peces también son objeto de pesca deportiva, ya que su tamaño los convierte en un atractivo trofeo al llegar a medir más de dos metros de largo. Sin embargo, en la actualidad no hay normas que regulen su captura, lo cual ha provocado una explotación desmedida. Así, para Tamaulipas se reportaba la obtención de 13.3 toneladas de esta especie en 1988, 5.7 toneladas en 1990 y sólo 1.1 toneladas en 1997 (Estadística Pesquera CRIP-Tampico; citado en Mendoza y Aguilera 2001).

Además de la sobreexplotación, las alteraciones de su hábitat contribuyen a que los volúmenes de su captura decrezcan. La disminución de las poblaciones implica no sólo privar de un recurso tradicional a los pescadores y comerciantes de la región noreste del país, sino también la



**Figura 1** Tamaño comparativo de especies de la familia Lepisosteidae. Fuente: Mendoza *et al.* 2008a.

**RECUADRO 9.6** [continúa]**Cuadro 1** Principales hitos en la investigación para el rescate y desarrollo tecnológico para la cría del catán

1982	Centro Acuícola Tancol inicia la producción de larvas Liberación de larvas de 5 a 10 días después de eclosionar
1996	La UANL inicia el Programa Catán
1997	Desarrollo larvario (morfología e histología)
1998	Ontogénesis enzimática
1999	Efecto de hormonas tiroideas en el desarrollo
2000	Cultivo de larvas con dietas artificiales Inicio del Programa de Reproducción
2001	Optimización de condiciones de cultivo Marcaje y seguimiento individual de reproductores
2002	Purificación de la vitelogenina (VTG) y producción de anticuerpos Reconocimiento de sexos
2003	Introducción hormonal al desove Requerimientos nutricionales
2004	Liberación de juveniles
2005	Desarrollo de inmunoensayo ELISA para la cuantificación de la VTG
2006	Obtención de la secuencia de la hormona de crecimiento (cDNA-GH) y estudio de su expresión durante la fase larvaria
2007	El catán como especie centinela para monitorear contaminación
2008	Estudio comparativo del desarrollo del tracto digestivo con otras especies de la familia Lepisosteidae
2009	Tiras reactivas para la detección de VTG en el campo
2010	Efecto de las hormonas tiroideas en reproductores
2012	Inhibidores de hormona de crecimiento (miostatina, somatostatina)
2013	Métodos de protección de hormonas tiroideas para su suplementación a larvas
2014	Purificación de la hormona estimuladora de la tiroides (TSH)
2015	Respuesta fisiológica del catán a diferentes contaminantes

posibilidad de extinción de la especie en México. Por ello, desde hace tiempo se ha señalado la necesidad de establecer zonas reservadas para la conservación del catán. Esta situación no es exclusiva de nuestro país, ya que en diversas regiones de Norteamérica se ha propuesto que esta especie sea considerada como amenazada o en peligro de extinción (Mendoza *et al.* 2008a).

**ESTRATEGIA PARA EL RESCATE DE LA ESPECIE**

Desde 1982 se emprendieron varios esfuerzos para controlar su reproducción en cautiverio y poder obtener una producción satisfactoria de larvas (Mendoza y Aguilera 2001).

Entre los aspectos que impidieron durante mucho tiempo este objetivo se encuentran su corta temporada reproductiva —restringida a una sola semana en el año (a fines de mayo)—, la edad promedio de los individuos reproductores —estimada en 15 años— y la imposibilidad de canular a las hembras para determinar su madurez sexual (Mendoza *et al.* 2008a). No obstante, el principal problema era la imposibilidad de distinguir las hembras de los machos, lo que impedía establecer una proporción adecuada de individuos reproductores para lograr una fertilización óptima (Mendoza *et al.* 2008a). Por otra parte, como consecuencia del rápido crecimiento de las larvas, el suministro de una densidad adecuada de presas vivas resultaba sumamente difícil, lo que

había provocado que las larvas fueran liberadas en etapas muy tempranas para evitar el canibalismo y esto tuvo como consecuencia menos probabilidades de sobrevivencia en el medio natural (Mendoza y Aguilera 2000; Mendoza *et al.* 2010).

Considerando el valor y la situación de esta especie, en 1998 se inició una investigación multidisciplinaria para obtener la información necesaria para su conservación y aprovechamiento (cuadro 1). Esta información es producto de proyectos de investigación que en 12 años recibieron alrededor de 10 millones de pesos (800 000 dólares, principalmente de fondos de Conacyt, Semarnat, Sagarpa y la UANL), lo que ha dado como resultado varias tesis de posgrado, con la consecuente formación de recursos humanos.

#### EL CONOCIMIENTO BÁSICO: SUSTENTO DE LAS APLICACIONES

Dentro de este contexto, una parte de esta investigación estuvo dirigida a la determinación de la vitelogenina (VTG), molécula precursora del vitelo y característica de las hembras en etapa reproductiva. La VTG plasmática fue aislada y purificada, posteriormente se produjeron anticuerpos con los que se estableció un inmunoensayo (ELISA) para poder cuantificarla, lo cual constituye una opción práctica, confiable y rápida para identificar el género de los adultos de catán sin sacrificarlos y puede usarse como un marcador del progreso de la madurez sexual (González *et al.* 2008). Estos resultados permitieron establecer la adecuada proporción de hembras y machos para la reproducción, así como la determinación de protocolos hormonales eficaces para la inducción de la

madurez sexual y el desove de los individuos reproductores (González *et al.* 2008).

Por otra parte, en las larvas se llevaron a cabo estudios morfológicos que permitieron distinguir las fases de desarrollo y de nutrición, así como seleccionar indicadores externos de inanición, con la finalidad de seleccionar dietas artificiales (Mendoza *et al.* 2002a y b; Mendoza *et al.* 2008b). Con estudios histológicos y fisiológicos del sistema digestivo se determinó que el tracto digestivo se encuentra completamente formado y funcional al iniciar la alimentación exógena, cinco días después de la eclosión. Con el establecimiento de las fases de nutrición y la evaluación de la condición nutricional se determinó que las larvas de catán tienen la capacidad de aprovechar dietas artificiales.

Por otra parte, fue posible establecer que las larvas desarrollan precozmente el eje tiroideo, el cual regula su desarrollo, y que la metamorfosis puede ser alterada con fines prácticos mediante la administración exógena de hormonas (Mendoza *et al.* 2002a). Mediante dietas artificiales con las características físicas y de atracción requeridas por el comportamiento de las larvas fue posible lograr el cultivo. Estos resultados fueron confirmados por medio de índices basados en ácidos nucleicos y en la actividad enzimática digestiva. En otra parte de la investigación se establecieron las mejores condiciones para el cultivo de larvas y juveniles, y se definió una estrategia de alimentación para alcanzar un crecimiento óptimo (Mendoza *et al.* 2008b). Finalmente, a partir de los juveniles cultivados se estableció un nuevo lote de individuos reproductores, que se encuentra en la UANL (Fig. 2).



**Figura 2** Larva de catán mantenida en cautiverio, Laboratorio de Ecofisiología, UANL (foto: Juan Ramón Armendáriz).

**RECUADRO 9.6** [concluye]**HACIA EL MANEJO SUSTENTABLE DE UN RECURSO ACUÍCOLA Y EL RESTABLECIMIENTO DE POBLACIONES EN VIDA LIBRE**

Los resultados permiten afirmar que actualmente se dispone de una tecnología exitosa para realizar el cultivo del catán, con la finalidad de recuperar sus poblaciones naturales, así como para reducir las presiones debidas a la pesca mediante el

escalamiento del cultivo a nivel comercial, produciendo organismos de talla adecuada. Gracias al desarrollo tecnológico se ha logrado mejorar la supervivencia de los catanes sembrados en diversos cuerpos de agua de su área de distribución natural; sin embargo, es necesario comenzar un programa de monitoreo, así como la regulación de su pesca, a fin de usar sustentablemente este valioso recurso pesquero (Fig. 3).



**Figura 3** Ejemplar de catán reproducido en la UANL (foto: Roberto Mendoza Alfaro).

identificación de frentes de deforestación, estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, evaluación de la efectividad de las áreas protegidas, desarrollo de un índice de impacto a la biodiversidad, entre otros aspectos (recuadro 9.7; recuadro 9.3 del volumen II; Cairns *et al.* 2000; Mas *et al.* 2004). Por lo antes expuesto, para ciertos casos se plantea como una necesidad desarrollar un esquema de clasificación y metodologías unificadas que puedan producir en paralelo resultados a escala nacional con una periodicidad mayor, aunque a menor detalle, lo que permitirá tomar decisiones de manera oportuna; un esfuerzo de este tipo ya está en marcha en México (MAD-MEX, Gebhardt

*et al.* 2014) y para toda Norteamérica, resultado de un trabajo colaborativo entre dependencias oficiales de México, Estados Unidos y Canadá, denominado Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte (NALCMS). El primer producto del NALCMS corresponde a la cobertura de uso del suelo y vegetación para el año 2005 con base en compuestos mensuales de imágenes satelitales con una resolución espacial de 250 m, obtenidas por el sensor MODIS (véanse los detalles en Colditz *et al.* 2012). Aunque la información obtenida por este proyecto puede ser demasiado general para aplicarla a escalas locales y con ello contar con una caracterización

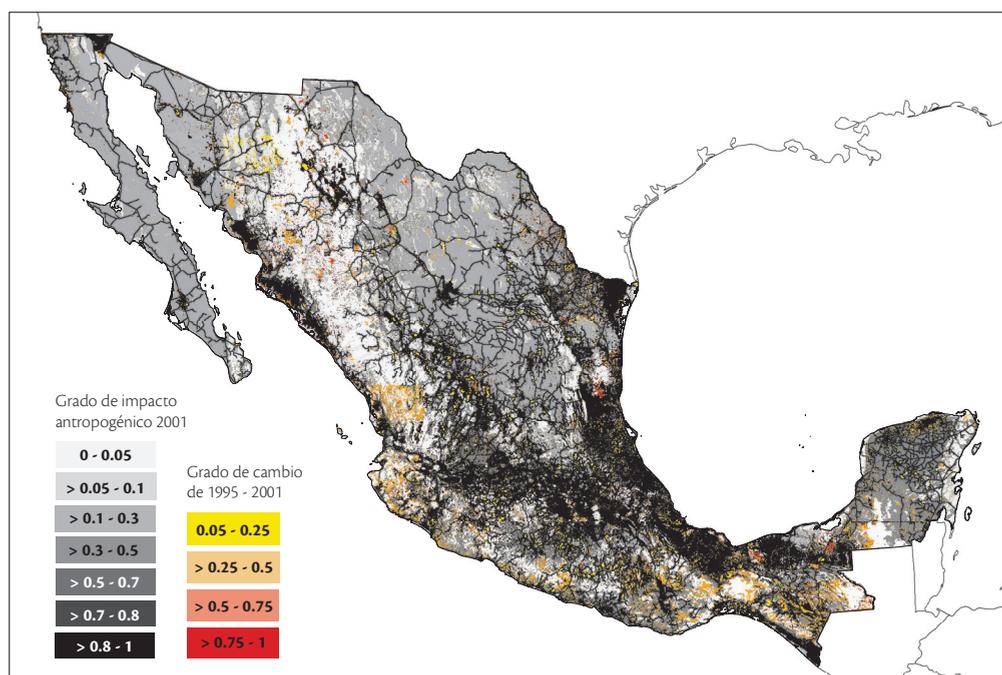
### RECUADRO 9.7 INDICADORES DE IMPACTO HUMANO, HERRAMIENTA PARA EVALUAR EL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

Melanie Kolb

Contar con una buena base de información sobre la biodiversidad es fundamental para tomar mejores decisiones sobre su manejo y conservación. Sin embargo, dada la magnitud de la misma, hay grandes limitaciones en la disponibilidad de datos, por ejemplo, sobre la distribución actual de la mayoría de las especies, el estado de conservación de sus poblaciones y los procesos funcionales asociados a las mismas en los ecosistemas. Por ello, es difícil conocer la situación de la biodiversidad a escala nacional considerando la falta de datos suficientes a la escala regional y local que permitan usarlos como indicadores para una comunicación efectiva desde el ámbito de la ciencia hasta el de la gestión pública. No obstante, desarrollos conceptuales e informáticos recientes han hecho posible inferir algunos aspectos del estado de conservación de la biodiversidad y sus tendencias de cambio basados en indicadores que reflejan los impactos antropogénicos más importantes que la afectan. Algunos ejemplos de este enfoque son el capital natural del PNUMA (2002), el índice de integridad de biodiversidad (Scholes y Biggs 2005) y el índice de la abundancia promedio de especies.

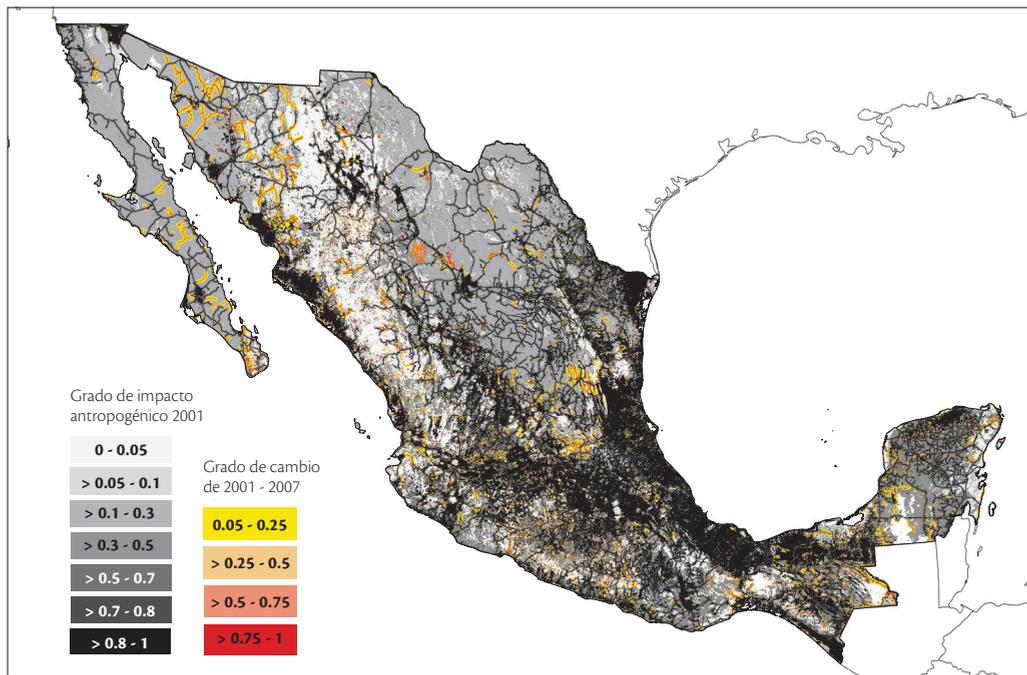
Este último se basa en el modelo Globio, producto de un proyecto coordinado por un consorcio de instituciones internacionales (Alkemade *et al.* 2009) que ha sido aplicado como una herramienta para la evaluación ambiental y como un sistema de alerta temprana que permite medir el cumplimiento de las metas propuestas por el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE 2006; OCDE 2008; Leadley *et al.* 2010).

A partir de este modelo global fue desarrollado en la CONABIO el índice Mexbio con una resolución de un kilómetro cuadrado (Kolb 2009). Mexbio incluye datos para México (Figs. 1 a 3) sobre el impacto en la biodiversidad por la degradación de la vegetación natural y los diversos cambios de uso del suelo, la infraestructura de carreteras, la fragmentación —resultado de los factores anteriores— y el efecto del cambio climático<sup>1</sup> (véanse detalles metodológicos en Alkemade *et al.* 2009). Se utilizaron como principales fuentes de información los datos del Instituto Nacional de

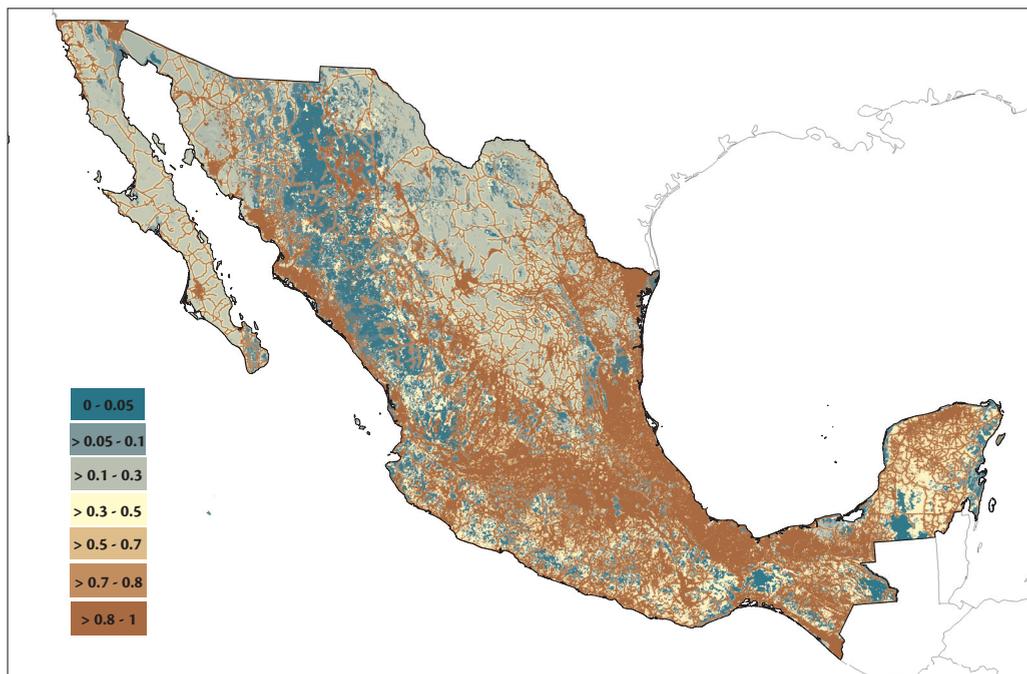


**Figura 1** Grado de impacto antropogénico en la biodiversidad terrestre para el año 2001 y el grado de cambio/degradación/aumento de impacto de 1995-2001 (fuente de datos base: INEGI 2001, 2005; IMT 1996, 2001).

RECUADRO 9.7 [continúa]



**Figura 2** Mapa de impactos antropogénicos en la biodiversidad terrestre para el año 2007 y el grado de cambio/degradación/aumento de impacto de 2001 a 2007 (fuente de datos base: INEGI 2005, 2008; IMT 2001, 2007).



**Figura 3** Mapa de impactos antropogénicos en la biodiversidad terrestre para el año 2007 (fuente de datos base: INEGI 2008, IMT 2007).

Estadística y Geografía (INEGI 2001, 2005, 2008) y del Instituto Mexicano del Transporte (IMT 1996, 2001, 2007) para crear una serie cronológica sobre el estado de conservación de la biodiversidad correspondiente a los años 1995, 2001 y 2007. Estos datos fueron analizados con base en relaciones de dosis-respuesta, con información proveniente de la literatura científica, para reflejar cómo las diversas actividades humanas (dosis) afectan la biodiversidad terrestre (respuesta). De esta manera, Mexbio representa un indicador compuesto que ofrece un panorama general del estado reciente de conservación de la biodiversidad con base en el grado de impacto antropogénico en comparación con un escenario hipotético de la situación original.<sup>2</sup> Los valores de impacto van de 0 (completamente impactado) a 100 (ningún impacto). El marco metodológico adoptado permite de esta manera hacer comparaciones entre diferentes años y así cuantificar el aumento del impacto humano (Fig. 4).

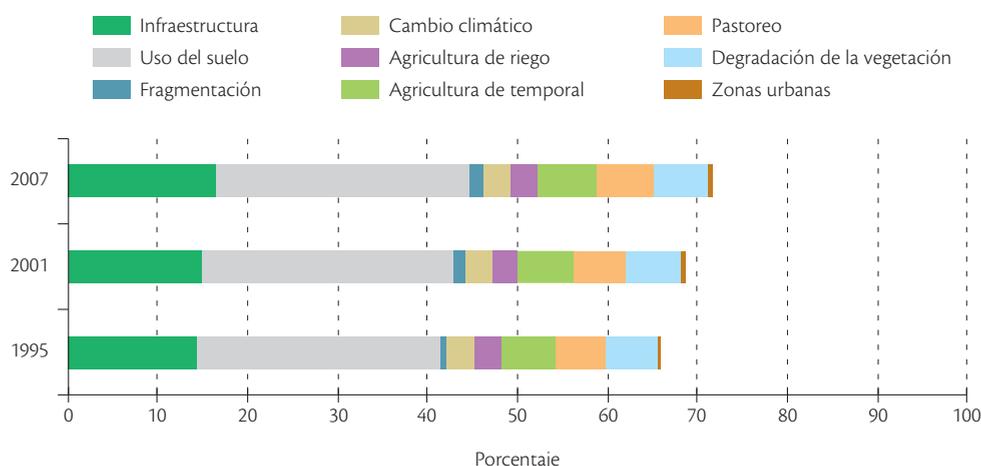
El impacto promedio por actividades antropogénicas aumentó de 55.43 en 1995 a 57.25 en 2001, y 59.31 en 2007. Este aumento fue causado por el incremento en proporciones iguales del impacto del uso del suelo y la fragmentación. Dentro de las categorías de uso del suelo, el aumento tuvo un incremento similar (Figs. 1 a 4).

Para llevar a cabo acciones efectivas de conservación y manejo es necesario conocer el papel que tiene cada uno de los diversos factores de presión en la biodiversidad evaluados, a fin de proponer estrategias enfocadas en reducir y controlar sus efectos (Velázquez *et al.* 2010). A pesar de que esta primera versión de Mexbio utiliza relaciones de dosis-respuesta globales y se basa en datos de actividades humanas, sin tomar en cuenta datos de los efectos en la biodiversidad *per se* en todos sus niveles de organización, es la primera vez

que existe un indicador operativo y dinámico en el ámbito nacional para México que permite apoyar la planeación y el manejo adaptativo para la conservación de la biodiversidad. Mexbio se ha utilizado en estudios de planeación sistemática de la conservación para identificar prioridades de conservación (CONABIO 2009; CONABIO 2011b; Tobón *et al.* 2012). Asimismo, con el propósito de aumentar el valor de este indicador, se trabaja en el desarrollo de modelos regionales de cambio de cobertura y uso del suelo para poder realizar análisis de escenarios prospectivos de efectos potenciales, lo que hace posible la exploración de opciones políticas de conservación y desarrollo (Kolb 2013; Kolb *et al.* 2013).

Con el fin de mejorar la calidad de este modelo se están rediseñando algunos módulos, por ejemplo, el de impacto de la infraestructura, tomando en cuenta la topografía y la hidrología para poder estimar la difusión del impacto de las carreteras en el paisaje de manera más real. Para mejorar el módulo de fragmentación se consideran los diferentes tipos de fragmentación (p.ej. áreas de borde y de perforación) así como estimaciones de requerimientos mínimos de área de los fragmentos para especies de mamíferos y aves. Asimismo, se ha consultado a especialistas de diferentes regiones de México para ajustar los valores de dosis-respuesta con el fin de reflejar de forma más fiel los procesos de degradación por uso del suelo.

A pesar de las ventajas que ofrecen indicadores como Mexbio, la evaluación de los impactos antropogénicos a la biodiversidad debería incluir datos más precisos sobre las afectaciones a la biodiversidad y no sólo relaciones de dosis-respuesta generales. Esto es un reto difícil de cumplir dada la falta de información acerca de los alcances que tienen las diversas actividades humanas en la estructura, composición y función de los diversos niveles de organización biológica. En el



**Figura 4** Proporción estimada en que los impactos antropogénicos afectan a la biodiversidad, y su tendencia temporal en México.

**RECUADRO 9.7** [concluye]

Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) hay un acervo considerable de registros históricos de flora y fauna, pero son insuficientes y sesgados los datos de presencia de las especies, además usualmente no se ha registrado la ausencia y más aún para el análisis del estado de conservación de las poblaciones. Además de sesgos de recolecta temporales hay sesgos espaciales (i.e. un mayor número de registros en las orillas de las carreteras y cerca de centros poblacionales), los cuales se ha intentado disminuir a partir de la construcción de modelos de distribución potencial. Sin embargo, estos modelos no toman en cuenta los impactos antropogénicos sobre la distribución y abundancia de las especies, ni la sensibilidad de éstas ante los factores de presión. El reto es obtener datos actuales y fidedignos sobre la distribución de las especies y los ecosistemas con un sistema de monitoreo sistematizado, como ha sido reconocido ampliamente en los ámbitos nacional e internacional (Sarukhán *et al.* 2012; Pereira *et al.* 2013). En la CONABIO se ha implementado un sistema de percepción remota (MadMex) para obtener datos periódicos a nivel de ecosistemas que permitan evaluar los cambios en extensión y productividad de la vegetación (Gebhardt *et al.* 2014). Este sistema debe ser complementado con datos *in situ* sobre la biodiversidad que sean relativamente fáciles de medir. Esto implica una serie de retos nuevos, por ejemplo, construir indicadores de diferentes aspectos de la biodiversidad a partir de datos confiables que sirvan como base del monitoreo

(Pereira *et al.* 2013; GEO BON 2014). Estos indicadores idealmente deben estar consensuados entre diferentes instituciones. Para lograr este reto es necesario incrementar una mejor colaboración entre instituciones nacionales. Por ejemplo, considerando el acercamiento que existe entre la CONABIO, la Conanp y la Conafor en los últimos años, una propuesta viable podría ser una ampliación del inventario forestal, así como ampliar y mejorar el programa de monitoreo en áreas protegidas.

Dada la dificultad y el tiempo necesario para desarrollar enfoques coordinados sobre el levantamiento y análisis de este tipo de datos entre las instituciones nacionales e internacionales, el desarrollo actual de Mexbio provee un marco conceptual conciso pero a la vez flexible que puede acoger nuevos datos y ser combinado con otros indicadores y datos de biodiversidad en cuanto éstos se encuentren disponibles.

- 1 El cambio climático fue incluido en una primera versión con los datos globales correspondientes al año 1999, pero no en la versión 1.0 de Mexbio. En el modelo global también se considera la deposición de nitrógeno, que en México todavía no llega al valor crítico utilizado en el modelo global y por ello no se incluyó en el modelo Mexbio.
- 2 Como no hay referencias acerca del estado original ni sobre impactos como la cacería, en este caso se hace referencia a un estado histórico.

detallada de la vegetación (*e.g.* diferenciar entre vegetación primaria y secundaria o degradada, y tipos de vegetación que ocupan áreas menores de un pixel) y la fragmentación del hábitat, es un punto de partida importante para tener productos comparables para ecosistemas transfronterizos y la base para continuar este trabajo con imágenes de mayor resolución, en particular para evaluar las acciones de manejo y conservación y para el monitoreo de zonas clave para la conservación por su gran diversidad, unicidad y alto grado de amenaza.

También se ha hecho notar nuestro limitado conocimiento acerca de las tendencias de cambio de hábitats acuáticos y de sus poblaciones de flora y fauna, así como la pérdida de los servicios ecosistémicos que éstos nos proporcionan debido a las consecuencias de los factores antropogénicos (cuadro 9.1). En particular, resulta prioritario desarrollar esquemas de monitoreo y de línea base para los ecosistemas acuáticos continentales y marinos; sin duda,

esto representa un gran reto. Por ejemplo, estimar la pérdida de humedales de agua dulce se dificulta no sólo por la propia dinámica de estos sistemas, sino por la carencia de tipificaciones, inventarios y mapas a escala nacional (capítulo 4 del volumen I). Por otro lado, las técnicas de percepción remota, en conjunto con datos de campo y avances en la aplicación de técnicas estadísticas (metaanálisis) y desarrollos tecnológicos (Côté *et al.* 2005; Asner *et al.* 2009; Cerdeira Estrada y López Saldaña 2011; Rodríguez-Zúñiga *et al.* 2013), arrojan resultados prometedores para el monitoreo de algunos ecosistemas.

Resulta prioritario coordinar los esfuerzos de todos los sectores a fin de contar con información suficiente para el desarrollo de una serie de indicadores clave a diferentes escalas que puedan, mediante el monitoreo a corto, mediano y largo plazos, dar cuenta de las tendencias de los cambios observados en el ambiente y las diferentes facetas de la pérdida de diversidad biológica. Actualmen-

te, muchos de los indicadores utilizados parten de datos ya existentes que no han sido obtenidos de manera consistente y comparable. Por ejemplo, en indicadores de diversidad de especies aún hay vacíos considerables y una gran heterogeneidad en la cobertura geográfica, taxonómica y temporal, con pocos datos para la mayoría de los grupos taxonómicos. Se requieren además indicadores para aspectos clave del estado de la biodiversidad, factores de presión, respuestas de política pública y de manejo, y particularmente aspectos relacionados con los beneficios de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Soberón y Peterson 2009; Butchart *et al.* 2010). También ha ocurrido que la mayoría de los indicadores se han desarrollado de forma individual y no en su conjunto, por lo que no existe una vinculación apropiada entre los indicadores de los factores últimos, sobre el estado del ambiente, alcances y respuestas (Niemeijer y De Groot 2008). Particularmente en el ámbito nacional es necesario el desarrollo de indicadores a partir de series cronológicas comparables e ininterrumpidas de largo plazo con una vinculación apropiada, para poder informar de manera oportuna a la sociedad y a los tomadores de decisiones sobre los problemas ambientales. Para ilustrar esto, consideremos la riqueza de especies, un indicador muy usado, que por sí sólo no refleja adecuadamente las implicaciones de la pérdida de la biodiversidad por efectos antropogénicos, dado que el número de especies que habitan en una localidad podría no variar aunque hubiera cambios espaciales y temporales en la dominancia y abundancia de las especies en la comunidad, lo cual puede tener consecuencias importantes en el funcionamiento del ecosistema (Balvanera *et al.* 2005; Larsen *et al.* 2005). Existe evidencia de que están ocurriendo procesos de homogeneización biótica, con los que ha habido una reducción de la diversidad y un número pequeño de especies comunes adaptadas a las condiciones de perturbación y ampliamente distribuidas predominan en las comunidades bióticas (McKinney y Lockwood 1999; Ortega-Álvarez y MacGregor-Fors 2009; Urquiza-Haas *et al.* 2009). Por ejemplo, si además de la riqueza de especies se estiman los cambios en la abundancia relativa y el recambio de especies, se podría tener un indicador más completo; sin embargo, ello requiere inventarios completos y una línea base referente a la composición de las comunidades bióticas para varias localidades, así como esfuerzos de monitoreo de largo plazo, como en los sitios de la Red Mexicana de Investigación Ecológica a Largo Plazo (Mex-LTER 2013), pero no se cuenta con dicho nivel de completitud de datos e información en regiones

relativamente grandes. Además, la combinación de diferentes datos y modelos geoespaciales y de percepción remota (capítulo 6 del volumen I; Turner *et al.* 2004; Soberón y Peterson 2009) permitirá desarrollar con mayor precisión indicadores de tendencias de cambio y del estado de la biodiversidad que se puedan aplicar a distintas escalas espaciales y temporales.

Por otro lado, aunque se sabe que la tasa, magnitud y dirección de los procesos ecosistémicos desempeñan un papel fundamental en la capacidad de brindar servicios ambientales (capítulo 4 del volumen II), no es posible cuantificar los alcances de la pérdida de especies sobre la eficiencia en el funcionamiento de los ecosistemas, ni estimar el grado de redundancia funcional<sup>3</sup> de las comunidades bióticas que confieren resiliencia a los ecosistemas (Rosenfeld 2002; Dobson 2005).

Para mejorar nuestra comprensión es prioritario llevar a cabo investigaciones con enfoque de grupos funcionales en ecosistemas del país (cuadros 9.1 y 9.3), ya que se ha documentado que la desaparición de especies clave dentro de los grupos funcionales lleva a una rápida degradación de los ecosistemas, lo que hace necesario un esfuerzo para investigar el papel de la contribución relativa de las especies de los diversos grupos de organismos sobre la estructura y funcionamiento de un ecosistema. Incluso cuando no es posible evaluar el papel funcional de todas las especies en todos los ambientes y comunidades, es necesario mejorar el entendimiento de las relaciones funcionales entre especies para tomar decisiones más sólidas en conservación y sobre el manejo de las especies y los ecosistemas (Walker 1995; Rosenfeld 2002). Para predecir cambios en la distribución de las especies y poder investigar los trastornos potenciales en los procesos y servicios ecosistémicos (Sekercioglu *et al.* 2004) se requiere obtener y organizar la información acerca de los atributos funcionales de las especies, su biología, demografía, así como información sobre atributos morfofuncionales que sean fáciles de medir y puedan servir como indicadores para determinar el estado de perturbación de un ecosistema y el papel ecológico que desempeñan las especies (capítulo 13 del volumen I).

El enfoque de los servicios ambientales en los estudios incluidos en la *Evaluación de los ecosistemas del milenio* y en *Capital natural de México* ha dejado ver una enorme necesidad de evaluar las “transacciones” de la transformación de los ecosistemas para obtener bienes y servicios, y las consecuencias que ello acarrea (cuadros 9.1 y 9.3). Es necesario entender mejor cómo el estado de los ecosistemas afecta la provisión de los diversos servicios

**Cuadro 9.3** Concordancias de las necesidades de conocimiento de *Capital natural de México* y *Evaluación de los ecosistemas del milenio* (MA 2005; Carpenter et al. 2006)

Vacíos de información	Especies	Ecosistemas	Paisajes
Conocimiento básico	<p>Microorganismos, insectos, otros invertebrados, hongos, peces demersales y abisales marinos, plantas acuáticas, angiospermas, crustáceos, grupos pelágicos y bentónicos.</p> <p>Papel funcional de las especies y en la provisión de servicios ecosistémicos en los ámbitos local y regional.</p>	<p>Ecosistemas de agua dulce (ríos y lagos), salobre (lagunas costeras y manglares) y marina, humedales (manglares y petenes), dunas costeras, arrecifes de coral.</p> <p>Flujos y almacenes de carbono, nitrógeno, fósforo y los procesos que los controlan en los diversos ecosistemas terrestres y marinos.</p> <p>Interacciones bióticas, producción ecológica y condición de los ecosistemas, y su relación con la provisión de servicios ecosistémicos (regulación de plagas, vectores de enfermedades, polinización o regulación de las especies invasoras).</p>	<p>Fronteras y patrones geográficos marinos.</p> <p>Flujos entre el océano y la atmósfera de los gases de efecto invernadero para entender la capacidad de secuestro de gases por el océano.</p> <p>Efecto de los cambios antropogénicos en la capacidad de captura de CO<sub>2</sub> en los ecosistemas marinos.</p>
Estado de conservación y monitoreo	Anfibios, especies marinas y especies vulnerables en peligro de extinción.	Humedales (manglares y cuerpos de agua continentales, ambientes acuáticos) y bosques.	
Afectaciones antrópicas	<p>Sustentabilidad de la explotación legal e ilegal de especies silvestres terrestres y marinas.</p> <p>Efecto de la transformación del hábitat en la diversidad, distribución y abundancia de especies terrestres y marinas.</p>	<p>Efecto de la extracción de especies forestales (a diferentes escalas).</p> <p>Consecuencias de la incorporación de sustancias exógenas, nutrientes y contaminantes en diversos ecosistemas sobre la capacidad intrínseca de detoxificación de estos ecosistemas.</p> <p>Efectos causados por los disturbios humanos sobre grupos funcionales estratégicos.</p> <p>Resiliencia de los ecosistemas y capacidad de recuperación de los mismos.</p> <p>Efecto de la explotación de recursos marinos sobre los ecosistemas y respuesta de los ecosistemas marinos al cambio climático.</p> <p>Efectos individuales y sinérgicos entre los factores de presión sobre los ecosistemas.</p> <p>Efectos ambientales y socioeconómicos de la transformación de ecosistemas.</p>	<p>Situación de los incendios forestales y sus efectos a corto y largo plazos sobre los ecosistemas, comunidades animales y vegetales.</p>

**Cuadro 9.3** [concluye]

Políticas públicas	Estrategias de conservación y uso sustentable de la biodiversidad		
Evaluación de la efectividad y de los factores que favorecen el éxito de las diversas estrategias de conservación y restauración.	Efectos ecológicos y sociales del cambio climático.	Relación ideológica y cultural entre los grupos humanos y la biodiversidad.	
Efectividad de las estrategias (económicas u otras) para mejorar el manejo de los ecosistemas.	Relación entre servicios ecosistémicos y bienestar humano; valoración económica de los servicios ecosistémicos y de los costos de su degradación, y dependencia de los grupos humanos de los servicios ecosistémicos que no tienen valor en el mercado.	Potencial de uso diversificado de la biodiversidad y su uso sustentable.	
Evaluación de costos y beneficios de las estrategias alternativas de manejo de los ecosistemas.	Tenencia de las tierras forestales, uso y consumo de servicios provistos por ecosistemas forestales.	Biodiversidad en sistemas agrícolas con diferentes sistemas de manejo (p. ej., especies cultivadas e intensidad del cultivo).	
Potencial de daño, manejo y control de especies invasoras.	Influencia del conocimiento tradicional en el manejo de recursos naturales y su conservación.		

ambientales y su relación con los sistemas humanos, cuál es el efecto de la extinción de poblaciones de flora y fauna en el funcionamiento de los ecosistemas, así como evaluar los efectos antropogénicos en los océanos; por ejemplo, cómo los flujos de CO<sub>2</sub> globales afectan la biodiversidad marina, entre otros (cuadros 9.1 y 9.3).

Un factor de presión emergente del cual se tiene muy poca información a escala local es el cambio climático global (véanse las prioridades de investigación en el recuadro 9.8) y la forma como interactúa y acelera la pérdida de diversidad biológica, en conjunto con otros factores de presión y amenaza (y sus efectos sinérgicos), como la pérdida y degradación del hábitat, la sobreexplotación y la presión de especies exóticas invasoras (Brook *et al.* 2008). Dada la velocidad a la que está ocurriendo el cambio climático es necesario minimizar la pérdida de biodiversidad, para lo cual es imprescindible reducir emisiones; expandir la conectividad entre los sistemas naturales, por ejemplo, mediante la ampliación de redes de áreas protegidas y otros instrumentos de conservación *in situ*, así como aumentar los esfuerzos para facilitar el movimiento de las especies (capítulo 13 del volumen II); en ese sentido, mantener los hábitats con vegetación natural y establecer corredores biológicos tienen un papel central, como lo ha mostrado el Corredor Biológico Meso-

americano-México al fomentar la integración de diferentes instrumentos de política ambiental y la inserción de criterios ambientales en las reglas de operación del sector rural (véase el capítulo 5 del volumen III y el recuadro 8.2 de este volumen), por lo que su diseño se podría extender a todo el país y quedar bajo jurisdicción de los estados como ha ocurrido recientemente en Tabasco (Sernapam 2011). Respecto al mantenimiento de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos, tanto en el ámbito local como en el regional, resulta fundamental cubrir nuestras lagunas de conocimiento sobre el valor de conservación en el paisaje de los remanentes de vegetación y de los diversos hábitats que pueden ofrecer cultivos y plantaciones con manejo agroecológico (p. ej., Moguel y Toledo 1999; Ortega-Álvarez y McGregor-Fors 2009). Lo anterior permitirá avanzar de forma contundente en una nueva visión de conservación, en la que las diversas estrategias de conservación y restauración se gestionen en el contexto de una planificación regional del paisaje, asegurando la continuidad de los procesos ecológicos y de la diversidad biológica, en un mosaico que integre remanentes de vegetación en buen estado de conservación con vegetación en diferentes etapas de sucesión y con sistemas diversos de producción diversificados y manejados por los habitantes locales (p. ej., sistemas de produc-

**RECUADRO 9.8** PRIORIDADES DE INVESTIGACIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

Enrique Martínez Meyer

Los cambios en el clima en todo el mundo, producidos por las actividades humanas, representan una preocupación mayor y creciente (Stocker *et al.* 2013), ya que, de seguir la tendencia proyectada de cambio climático (cc), éste podría ser uno de los factores directos de mayor alcance sobre la biodiversidad y el bienestar de la población humana. En los últimos años se han realizado numerosas investigaciones que buscan documentar los posibles efectos del cc en la biodiversidad. Por ejemplo, se han estudiado cambios en los patrones fenológicos de zonas templadas, en la distribución de especies y en la composición de comunidades (Carabias *et al.* 2010; Lee 2011). Hay nuevos escenarios de cambio climático regionalizados para México, los cuales representan el conjunto de los últimos modelos generales de circulación para diferentes zonas del país (Cavazos *et al.* 2013), aunque aún resulta necesario incrementar la resolución espacial y reducir la incertidumbre de los mismos, con el fin de

aumentar su utilidad para diversos análisis y para la toma de decisiones en el ámbito local.

Sin embargo, aún falta información que permita determinar la capacidad de adaptación y respuesta de las especies a los cambios en el clima; en particular, identificar especies y regiones vulnerables. Además, es necesario evaluar los efectos sinérgicos del cc con otros factores de presión (p. ej., la contaminación, la destrucción de los ecosistemas naturales, el cambio de uso de suelo (cus) y las invasiones biológicas, entre otros.

En el cuadro 1 se enlistan algunas de las prioridades de investigación más apremiantes relacionadas con el cc, identificadas para la gestión del capital natural de México. Esta información proveerá bases para elaborar políticas y estrategias de conservación y de adaptación al cc que ayuden a reducir la pérdida de biodiversidad y mitigar los efectos en las poblaciones humanas.

**Cuadro 1** Temas prioritarios

<b>CLIMA</b>	
Tendencias históricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Análisis de las tendencias históricas de precipitación a partir de los registros puntuales de las estaciones meteorológicas individuales. Estudio equivalente al que realizaron Pavia <i>et al.</i> (2009) para las temperaturas (véase Cuervo-Robayo <i>et al.</i> 2014).</li> <li>– Análisis de las tendencias históricas de otras variables climáticas relevantes para el funcionamiento de los ecosistemas (<i>e.g.</i>, evapotranspiración).</li> </ul>
Tendencias a futuro	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Incremento de la resolución de escenarios climáticos para el país y reducción de la incertidumbre con base en el desarrollo de modelos más precisos.</li> </ul>
<b>BIODIVERSIDAD</b>	
<b>Poblaciones / especies</b>	
Tendencias históricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Integración y análisis de información histórica en el contexto de cambio climático (<i>e.g.</i>, Sinervo <i>et al.</i> 2010). Esfuerzos de investigadores que tengan muestreos poblacionales desde hace tres décadas.</li> <li>– Proyectos para evaluar periódicamente sitios históricos en donde se hayan realizado inventarios de diversos grupos taxonómicos para detectar cambios en la abundancia de las especies en periodos de tiempo largos (<i>e.g.</i>, Proyecto Grinnell, Universidad de California en Berkeley; mvz 2014).</li> <li>– Análisis de datos con cronosecuencias de largo plazo en el marco de la Red Mexicana de Investigación Ecológica a Largo Plazo (LTER) (Ceballos, <i>com. pers.</i>).</li> <li>– Modelación de distribución/abundancia de especies del pasado reciente al presente, para plantear hipótesis con comprobación en campo.</li> <li>– Desarrollo de la investigación para identificar poblaciones con reducción de variabilidad genética, asociada a pérdida de adecuación relacionada con cambios esperados por reducciones poblacionales en sitios afectados por cc. Particularmente, los recursos genéticos de importancia agrícola de los cuales México es centro de origen y diversificación.</li> </ul>

**Cuadro 1** [concluye]

<b>Poblaciones / especies</b>	
Tendencias históricas [continúa]	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Contribución del CC a la expansión de especies exóticas invasoras y de enfermedades transmitidas por vectores.</li> <li>– Establecimiento de un sistema de monitoreo usando especies centinela representativas de los distintos ecosistemas, para las que se midan parámetros sensibles al CC (e.g., éxito reproductivo, tasa de crecimiento poblacional, abundancia).</li> <li>– Evaluación de la eficacia de la conectividad entre áreas con vegetación primaria o poco perturbada.</li> <li>– Efecto sinérgico de otros agentes de perturbación (e.g., deforestación, contaminación, etc.) con los efectos del CC sobre las poblaciones.</li> </ul>
Tendencias a futuro	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Uso de modelos correlativos y mecanísticos de distribución geográfica y de abundancia para identificar especies y sitios vulnerables.</li> <li>– Desarrollo de escenarios de CUS a futuro para todo el país.</li> <li>– Integración de escenarios de CUS y cambio climático en la modelación de distribución y abundancia de especies.</li> <li>– Desarrollo de un estudio de prioridades para la conservación integrando los escenarios futuros de CC y CUS para identificar especies y zonas críticas.</li> <li>– Desarrollo de un modelo de cambios en la estructura/variabilidad genética, de acuerdo con las expectativas poblacionales de las especies (e.g., filogeografía al futuro).</li> <li>– Fomento del desarrollo de trabajos experimentales en condiciones controladas y semicontroladas sobre cambios en los regímenes climáticos para las especies.</li> </ul>
<b>BIODIVERSIDAD</b>	
<b>Comunidades</b>	
Tendencias históricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Por medio de estudios históricos, identificación de cambios en estructura (presencia/ausencia de especies, dominancia) y función (e.g., gremios tróficos) de las comunidades bióticas.</li> <li>– Modelación de estructura y función de comunidades del pasado reciente al presente, con el fin de plantear hipótesis comprobables en campo.</li> <li>– Documentación del desacoplamiento de interacciones bióticas y sus efectos al nivel de comunidad.</li> <li>– Documentación de los efectos en cascada sobre comunidades bióticas por alteraciones al nivel de las poblaciones.</li> </ul>
Tendencias a futuro	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Modelación de la estructura y función (p. ej., gremios tróficos) de las comunidades en escenarios futuros de CC y CUS.</li> <li>– Impulsar el estudio experimental de las comunidades bióticas ante escenarios de CC.</li> </ul>
<b>Ecosistemas</b>	
Tendencias históricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Caracterización de la integridad de los ecosistemas de México, incluyendo sus flujos de materia y energía.</li> <li>– Estimaciones de los almacenes de carbono y sus cambios a lo largo del tiempo en los diferentes ecosistemas naturales y antropizados.</li> <li>– Cambios en la integridad por alteraciones en los flujos de materia y energía.</li> </ul>
Tendencias a futuro	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Modelación de la integridad y los flujos de materia y energía de los ecosistemas en escenarios futuros de CC y CUS.</li> <li>– Estimación de los cambios en los almacenes de carbono en escenarios futuros de CC y CUS.</li> </ul>

ción orgánicos, multifuncionales, agroforestales), así como asentamientos humanos con una adecuada planificación que permita minimizar la pérdida de biodiversidad (capítulo 19 del volumen II; Fischer *et al.* 2006; Chazdon *et al.* 2009).

### 9.3 NECESIDADES PARA FORTALECER LAS CAPACIDADES LOCALES

#### 9.3.1 Políticas públicas

En México se han analizado las principales políticas en materia ambiental implementadas en los últimos tres lustros y si bien se han identificado claramente las consecuencias de algunas de dichas políticas sobre el entorno natural, en general se desconoce el modo y la magnitud de los efectos del marco normativo (no sólo el ambiental, sino el de diversos sectores como economía, turismo, agricultura, pesca, entre otros) y de los diversos instrumentos de conservación sobre los procesos de deterioro que afectan a la biodiversidad (capítulo 6 del volumen III y capítulo 8 de este volumen). En el caso de las políticas públicas del sector ambiental, las evaluaciones implementadas por los gobiernos para dar seguimiento a su desempeño descansan predominantemente en indicadores de gestión, y muy poco en indicadores de impacto que valoren las consecuencias que las diferentes políticas gubernamentales tienen sobre el capital natural (Cortina y Zorrilla 2009). Debido a lo anterior, se ha expresado la necesidad de emprender un ejercicio de evaluación a escala nacional para conocer la eficacia de las políticas ambientales en la conservación y el manejo sustentable del capital natural, e identificar aquellos factores que obstaculizan o promueven el éxito en la implementación de sus instrumentos de gestión (cuadro 9.4).

Debido a la creciente pérdida de hábitat y el consecuente deterioro de la biodiversidad es fundamental generar la información o usar la ya existente para fortalecer la restauración y recuperación de los ecosistemas (véase el recuadro 9.9); en especial, dado que las actividades productivas primarias son una de las principales causas de la degradación de los ecosistemas, es imprescindible promover opciones productivas que permitan detener o —idealmente— revertir esta situación. La agroecología y agroforestería representan opciones destacables, y sin embargo se carece de estudios para resolver las dificultades que representa su implementación a escala regional o nacional (capítulo 3 del volumen III). De igual modo, se

requiere impulsar la investigación encaminada a definir cuáles de las posibles modalidades de manejo agrícola, ganadero, forestal y pesquero son capaces de mantener múltiples servicios ambientales y la diversidad biológica, con el propósito de minimizar el efecto negativo de estas actividades sobre los ecosistemas (capítulos 4 y 5 del volumen II y capítulo 3 del volumen III).

Aunque se ha planteado que el cultivo de organismos genéticamente modificados (OGM) podría tener algunas ventajas económicas (*e.g.* disminución en el uso de insecticidas, fungicidas, etc.), no se han realizado suficientes estudios y se desconocen aún los efectos de estos cultivos en el medio ambiente, la biodiversidad y sobre organismos “no blanco” —sobre todo en el largo plazo—, y tampoco hay estudios concluyentes respecto al incremento en la productividad de estos cultivos, ni se ha comparado el uso de insumos agrícolas en los OGM con aquellos utilizados en cultivos tradicionales (capítulo 7 del volumen II; Snow *et al.* 2005; Acevedo *et al.* 2011). Es necesario abordar estos vacíos de información para fortalecer las discusiones y buscar la toma de decisiones mejor informadas.

Para el caso del sector pesquero es necesario conocer la capacidad de carga de las pesquerías de pequeña, mediana y gran escala, al igual que el estatus de las especies de las cuales depende en gran medida este sector, determinar las tasas sostenibles de extracción para las mismas y explorar el potencial de uso de otras especies, así como promover el uso diversificado para reducir la presión que actualmente existe sobre unas cuantas especies, con el consecuente beneficio en la economía de las comunidades de pescadores.

Las poblaciones rurales han dependido de manera tradicional del uso diversificado de los ecosistemas para subsistir (Toledo *et al.* 1995), y a pesar de ello hay importantes vacíos en la información respecto a la amplia gama de flora y fauna utilizada por las diferentes comunidades indígenas y mestizas asentadas en zonas rurales de diversas regiones del país. Lo anterior es igualmente válido tanto en lo que se refiere al aprovechamiento con fines de subsistencia como al uso que se da a estas especies con fines comerciales. Contar con información sobre los usos de estas especies, la sustentabilidad de sus tasas de extracción, los procesos de recolección y producción, y las vías de comercialización es importante tanto para establecer estrategias de desarrollo rural sustentable mejor adaptadas a las condiciones locales como para evaluar la sustentabilidad de sus aprovechamientos (Agardy *et al.* 2005). Además de aportar información biológica básica de las especies utilizadas es necesario investigar el potencial de

**Cuadro 9.4** Síntesis de los principales vacíos de conocimiento para informar sobre políticas y herramientas actuales de gestión ambiental y las necesidades de conocimiento para estrategias potenciales de conservación y manejo sustentable de los ecosistemas

<b>POLÍTICAS Y HERRAMIENTAS DE GESTIÓN</b>
<b>Legislación, programas y estrategias</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar fortalezas y debilidades, así como efectos (positivos y negativos) sobre la biodiversidad de:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Normas jurídicas sobre el uso y aprovechamiento de la biodiversidad</li> <li>– Procedimientos de evaluación de impacto ambiental</li> <li>– Enfoques, metodologías, arreglos legales e institucionales de los instrumentos de planeación territorial</li> <li>– Incentivos económicos para la conservación de los ecosistemas</li> <li>– Programas y herramientas de conservación, reforestación, manejo forestal, reintroducción de fauna y educación ambiental, en particular en diferentes contextos sociales y ecológicos, para ajustar la toma de decisiones.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Biotechnología</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar los efectos de los organismos genéticamente modificados (OGM) sobre los organismos <i>no blanco</i> y la diversidad biológica.</li> <li>• Evaluar de manera integral y sólida la conveniencia y las desventajas de utilizar OGM en el ámbito ecológico y social.</li> <li>• Desarrollar programas de monitoreo y vigilancia de los OGM en el ambiente.</li> <li>• Comparar el uso de plaguicidas y herbicidas en OGM, cultivos convencionales y tradicionales.</li> </ul>
<b>Uso sustentable, conservación y restauración</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudiar los beneficios en términos ambientales y sociales de actividades productivas que incorporen múltiples especies, mantengan diversos servicios ambientales y minimicen los efectos negativos sobre los ecosistemas, para el desarrollo y fomento de prácticas productivas sustentables.</li> <li>• Integrar el conocimiento tradicional en el manejo de los ecosistemas.</li> <li>• Evaluar el potencial de expansión de unidades de manejo ambiental y manejo forestal sustentable               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Diagnosticar con mayor precisión la derrama económica de los ejemplares, productos y subproductos, de vida silvestre y su potencial de producción para incrementar el potencial o buscar opciones para el aprovechamiento de la vida silvestre y su comercio.</li> </ul> </li> <li>• Evaluar oportunidades económicas, sociales y ambientales de los proyectos productivos sustentables.</li> <li>• Promover investigación que guíe una política integral, intersectorial, interdisciplinaria y de largo plazo para la restauración ambiental.</li> </ul>
<b>Servicios ecosistémicos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar políticas públicas que promuevan el mantenimiento de los servicios ecosistémicos con base en el conocimiento de:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Las relaciones e interacciones de los servicios ecosistémicos, y los costos y beneficios para los distintos sectores de la sociedad.</li> <li>– El papel y el valor de los servicios ambientales generados por los ecosistemas para el bienestar de la población, particularmente para los habitantes de las grandes urbes.</li> <li>– Los efectos de la pobreza y la desigualdad en la demanda de servicios ecosistémicos y en las presiones sobre la biodiversidad</li> <li>– El papel de las políticas públicas en la generación y mitigación de la vulnerabilidad humana ante la transformación de los ecosistemas.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Educación ambiental</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar las percepciones ambientales de la sociedad para mejorar los programas de educación ambiental y de divulgación científica que apoyen el desarrollo de capacidades sociales para la gestión del territorio.</li> <li>• Identificar los factores que promueven una cultura ambiental.</li> <li>• Evaluar el papel de los medios de comunicación y educación en materia de medio ambiente y biodiversidad.</li> </ul>
<b>Sustentabilidad urbana</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar el patrón de crecimiento y desarrollo de las megalópolis para prevenir errores y guiar la sustentabilidad de las ciudades pequeñas.</li> <li>• Realizar análisis de los asentamientos humanos periódicamente.</li> </ul>

**RECUADRO 9.9** INVESTIGACIÓN APLICADA PARA LA RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

Compilado por Georgina García Méndez

Se ha reconocido como una prioridad nacional la restauración ambiental de los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos, en zonas templadas, tropicales, áridas y semiáridas. A pesar de que la ciencia de la restauración en México no está del todo consolidada, hay un gran número de investigaciones realizadas en diferentes ecosistemas del país que se han implementado en las últimas décadas. En el cuadro 1 se resumen cinco programas de restauración en diversos

ecosistemas (bosque templado, laguna, manglar, bosque tropical caducifolio) (véanse detalles en los recuadros 4.2 a 4.6 del capítulo 4, volumen III, de esta obra; Agraz y Arriaga 2010; Arriaga y Fernández 2010; Cruickshank 2010) que muestran la importancia de fortalecer las capacidades para lograr recuperar la funcionalidad de los ecosistemas, con base en información científica existente y con la obtención de nuevo conocimiento, así como con la colaboración de diversos actores.

**Cuadro 1** Resumen de cinco ejemplos de programas de restauración exitosos que indican las características ecológicas y sociales de las diversas regiones, los factores de cambio, las acciones que se han llevado a cabo para revertir la degradación de los ecosistemas y los resultados de dichas acciones

Programa de restauración	Características	Factores de cambio	Acciones realizadas	Resultados
Áreas comunales de Texcoacpan, Puebla	Bosques de pino, oyamel y encino con dominancia de <i>Abies religiosa</i> , <i>Pinus patula</i> , <i>P. ayacahuite</i> , <i>P. pseudostrobus</i> y <i>Quercus</i> spp.	En 1998, un incendio de copa arrasó 150 hectáreas en la parte alta de la zona boscosa.	Declaratoria como Zona de Restauración Ecológica (ZRE). Control de la erosión mediante la construcción de bordos y presas de azolve. Actividades de reconversión productiva en las zonas aledañas. Restablecimiento de la cubierta vegetal mediante la reforestación y la inducción de la regeneración natural. Reintroducción de, <i>P. ayacahuite</i> , <i>P. montezumae</i> y <i>P. pseudostrobus</i> .	Se evitó el cambio de uso de suelo, se favoreció el desarrollo de la estructura y de la cobertura vegetal, y se retuvo el suelo que estaba en riesgo de erosionarse. Se reforestaron 167 hectáreas con 224 000 plantas, cuya supervivencia global en la zona fue de 82%, con diámetros de 6 a 8 cm y alturas de hasta 5 m a seis años de su establecimiento. Se fortalecieron las capacidades de organización comunitaria.
Lago de Texcoco	Considerado el cuerpo de agua más importante para el funcionamiento hidrológico de la cuenca de México.	Severo deterioro ecológico por la desecación del lago y desertificación de los terrenos ocupados y circundantes, lo que ocasionó severas tolvaneras.	Construcción de cinco lagos artificiales: Nabor Carrillo, Regulación, Churubusco, Xalapango y Recreativo, que en conjunto ocupan 1 700 hectáreas; los lechos de estos lagos fueron rellenados entre 1982 y 1983 con aguas previamente tratadas en el área del proyecto, las reencauzadas de los ríos tributarios y las residuales. Construcción de tres plantas de tratamiento y una planta de bombeo en la zona del Caracol para mejor desalojo de las aguas del Gran Canal.	Se redujo la salinidad del suelo mediante la regeneración de áreas verdes y, al encauzar los ríos más importantes y con la creación de los lagos artificiales, se consiguió evitar las tolvaneras y el riesgo de inundaciones; además, actualmente es un hábitat de numerosas especies de aves, en particular migratorias.

Cuadro 1 [concluye]

Programa de restauración	Características	Factores de cambio	Acciones realizadas	Resultados
Manglar en la Laguna de Términos, Campeche	El ecosistema de manglar está dominado por <i>Rhizophora mangle</i> , <i>Avicennia germinans</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> y <i>Conocarpus erectus</i>	Cambios en el uso de suelo. En 1993 y 1994 fue seriamente dañado por los huracanes <i>Rosana</i> y <i>Opal</i> . El programa de restauración se lleva a cabo como una medida de compensación de un bosque de mangle, en proporción 1:1, que fue deforestado por la instalación de infraestructura eléctrica en el estero de Sabancuy.	Se restauró un área de 24.5 hectáreas mediante una estrategia integral basada en la rehabilitación hidrológica del sitio degradado, para posteriormente realizar la reforestación con plántulas de mangle negro ( <i>Avicennia germinans</i> ). Se reprodujeron en vivero 200 000 plántulas y se trasplantaron a los tres meses.	Se recuperó la dinámica hidrológica del área de estudio; la supervivencia de las plántulas fue de 90% en 2008. Las acciones ayudaron a restaurar el hábitat de especies endémicas y migratorias de aves, crustáceos, mamíferos y reptiles.
Rehabilitación del ambiente natural y productivo en la comunidad indígena de San Nicolás Zoyatlán, Guerrero	Comunidad de origen nahua en la que predomina el bosque tropical caducifolio.	La vegetación natural fue removida y sustituida por pastizales o áreas de cultivo en 13% de la extensión regional.	Establecimiento de sistemas agroforestales en parcelas agrícolas en uso y plantaciones en parcelas agrícolas abandonadas. Los sistemas agroforestales incluyeron cercas vivas de especies secundarias del bosque tropical y franjas monoespecíficas dentro de las parcelas con árboles de etapas serales tardías. En las plantaciones se incluyeron hasta 13 especies de acuerdo con el uso futuro que el productor decidió asignar a su parcela.	La supervivencia y el crecimiento de las plantas fue variable entre especies y sitios. A cinco años de establecidas, la supervivencia global por sitio osciló entre 52 y 99%, y fue en los sistemas agroforestales donde se presentaron los valores más altos de supervivencia y crecimiento de las plantas. Se recuperaron cuatro especies que no se registraban en la zona desde hace al menos 40 años y se mejoró la estructura y composición de la vegetación.
Rehabilitación de 79 hectáreas de la cantera Cuautlapan y de los bancos de barro del Cerro Buenavista, municipio de Ixtaczoquitlán, Veracruz.	La vegetación original está representada por bosque tropical subperennifolio y mesófilo de montaña.	Parte de los terrenos fueron utilizados para la extracción de materias primas, para lo cual fue necesario remover la cubierta vegetal, el suelo y el subsuelo; esto provocó modificaciones del relieve natural del sitio y que las formaciones geológicas de material rocoso quedaran expuestas; en consecuencia, sus condiciones eran poco favorables para que se diera la regeneración de manera natural.	Para compensar la ausencia del componente edáfico se recolectó suelo de otras zonas de explotación y se mejoró su fertilidad con la adición de vermicomposta, posteriormente se aplicó en los taludes formados por la extracción. El desarrollo de la vegetación se favoreció con la selección adecuada de especies de acuerdo con sus hábitos de colonización, en combinación con técnicas de reintroducción variadas (semillas, plantas producidas en vivero y rescatadas de otras zonas de extracción). Las acciones permitieron trabajar simultáneamente diferentes etapas de la sucesión vegetal.	El seguimiento continuo indicaba en 2008 que después de 12 años de iniciarse las acciones de rehabilitación, la cobertura vegetal aportada por especies con diferentes formas de vida cubría 90% de la superficie, la supervivencia de las plantas era de 95%; el aumento en la riqueza de especies fue sustancial (442 especies), principalmente en el sustrato herbáceo. Para el componente edáfico se cuantificó el mejoramiento de la fertilidad y la recuperación de su dinámica, con base en la actividad de la fauna inherente al suelo. El mejoramiento del hábitat se ha estimado con el seguimiento de la avifauna que visita el sitio.

**RECUADRO 9.9** [concluye]

Estos ejemplos muestran que, a pesar de los diversos retos presentados para restablecer o mejorar las condiciones naturales del ecosistema, es posible alcanzar resultados satisfactorios en proyectos de restauración cuando existe la capacidad de realizar un trabajo realmente interdisciplinario. La participación en el proceso de las comunidades dueñas de las áreas por restaurar es indispensable y debe considerarse desde el diseño mismo del proyecto (Sarukhán 2007). Las prácticas de restauración deben ser atractivas para las poblaciones e incorporar el conocimiento, uso y manejo tradicional de las especies nativas.

Sin embargo, estas acciones aún son aisladas; por ejemplo, la superficie restaurada en la comunidad de Texocuiapan representó solamente 2.8% de la superficie arbolada que se perdió por los incendios de 1998 (Conafor 2002).

Si bien se sabe que la restauración es costosa y compleja por la coordinación intergubernamental y sectorial que requiere, la incipiente respuesta puede atribuirse a que en México no ha existido una política de restauración ambiental. Es fundamental instaurar una agenda de restauración que considere: 1] la restauración ecológica de áreas para la conectividad a diversas escalas; 2] la recuperación de ecosistemas terrestres y acuáticos prioritarios alterados en su composición, estructura y funcionamiento; 3] la recuperación de especies amenazadas o en peligro de extinción, y 4] la mejora y el mantenimiento de elementos críticos de los ecosistemas (Sarukhán *et al.* 2012; capítulo 4 del volumen III). También es necesaria una visión de paisaje y de continuidad

que dé cabida a una variedad de actividades de restauración, en concordancia con las necesidades propias del territorio y las características ambientales que definen los procesos ecosistémicos que ahí suceden.

Los programas exitosos de restauración no sólo dependerán de la disponibilidad de recursos económicos y de la voluntad política, sino también de definir objetivos precisos que permitan conducir las acciones con estricto cuidado técnico y favorecer la concertación social para ejecutar dichos programas (Sarukhán 2007; capítulo 4 del volumen III), que usualmente son de mediano y largo plazos.

En nuestro país todavía no se realiza una evaluación sistemática de los resultados de diferentes experiencias en restauración justamente porque los proyectos comienzan sin una línea de base y carecen de metas establecidas en el largo plazo, esto es, carecen de una base científica en su diseño, implementación, monitoreo y evaluación (Carabias *et al.* 2006).

Es urgente consolidar la restauración ambiental como una ciencia interdisciplinaria, con bases conceptuales sólidas para explicar la complejidad de los sistemas de estudio, con métodos y herramientas que permitan medir variables de las diferentes disciplinas. Es necesario fortalecer las capacidades nacionales para la restauración, formando profesionales capaces de entender, desde una perspectiva multidisciplinaria, los sistemas complejos, y que puedan diseñar proyectos en el largo plazo en los diferentes ámbitos de la restauración.

uso de otras especies de flora y fauna para diversificar su aprovechamiento actual y desarrollar estrategias de uso sustentable de la biodiversidad a escalas nacional, regional y local (Beattie *et al.* 2005; capítulo 4 del volumen I y capítulo 5 del volumen II).

La importancia de valorar los servicios ambientales proporcionados por los ecosistemas comienza a tener un papel más preponderante en la toma de decisiones en los ámbitos nacional e internacional, a pesar de que aún es limitado el conocimiento que se tiene para valorar cabalmente, desde los puntos de vista económico y ecológico, una amplia gama de servicios ambientales, y sobre el papel funcional de la biodiversidad en la generación de servicios ecosistémicos y el modo en que éstos son afec-

tados por las transformaciones producto de la actividad humana (cuadro 9.4; capítulos 2 y 4 del volumen II). Usualmente, las evaluaciones económicas de los servicios ambientales sólo consideran algunos aspectos que pueden medirse de forma relativamente fácil, y por lo general el valor económico otorgado a los diferentes componentes de la biodiversidad se asigna en los mercados basándose únicamente en su uso consuntivo, sin considerar su papel en la generación de servicios ambientales indispensables para el bienestar humano (capítulo 1 del volumen II). Requieren especial atención aquellos servicios ambientales involucrados en la regulación del clima, el ciclo hidrológico, la reducción del alcance de los desastres naturales, la mitigación de disturbios causa-

dos por las actividades humanas, así como los que son estratégicos para el bienestar humano y el desarrollo sustentable (capítulos 3 y 4 del volumen II).

En el caso de los manglares —uno de los ecosistemas que han sido gravemente afectados y amenazados por el desarrollo turístico y urbano a lo largo de las costas mexicanas—, la valoración económica de tan sólo uno de los

servicios ecosistémicos que proporcionan (Aburto-Oropeza *et al.* 2008), junto con las discusiones en el seno de la sociedad, permitieron contribuir de manera contundente en la implementación de normas con el fin de revertir la tendencia de deterioro en beneficio de la sociedad (véase el recuadro 9.10). Respecto al manejo sustentable de los manglares se requiere información sobre su potencial de

#### RECUADRO 9.10 LOS MANGLARES EN MÉXICO: HISTORIA DE UNA UTOPIA VIABLE

Exequiel Ezcurra

¿Qué valor tiene el capital natural de un país? y ¿cómo mostrarlo a la sociedad, convenciéndola de la importancia de su conservación? La conservación de los manglares en México es un caso particularmente emblemático acerca de cómo estas discusiones pueden ocurrir en el seno de una sociedad, y de cómo la ciencia puede contribuir a la resolución de aparentes conflictos sobre el acceso a los recursos naturales.

La saga de la conservación de los manglares comenzó el 10 de abril de 2003, con la publicación por parte de la Semarnat de la NOM-022-SEMARNAT-2003, “que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar” (Semarnat 2003). Reconociendo la importancia de los servicios ecosistémicos de las lagunas y los humedales costeros, la norma establecía un sencillo y claro criterio fundamental: “el manglar deberá preservarse como comunidad vegetal”.<sup>1</sup> Su publicación provocó rechazo por parte de agrupaciones de desarrolladores costeros, quienes veían en las concesiones de la zona federal una oportunidad sobresaliente para adquirir terrenos costeros a muy bajo precio para su desarrollo. Incluso algunas dependencias del gobierno federal mostraban una posición abiertamente contraria a la de la Semarnat: el Fondo Nacional para el Fomento al Turismo (Fonatur), por ejemplo, había entregado gratuitamente 151 hectáreas de mangle en Punta Nizuc, Cancún, a la empresa Golf & Resorts, como parte de una venta total de 378 hectáreas. El argumento para no cobrar estas tierras era que se trataba de una zona de manglar a la que, según el propio Fonatur, “no se le reconoce valor” económico (Cuéllar 2004).

Presionado por estas acciones, el subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental, publicó en mayo de 2004 un breve acuerdo en el *Diario Oficial de la Federación* (Semarnat 2003). El nuevo artículo establecía que “la prohibición de obras y actividades estipuladas, y los límites establecidos, podrán exceptuarse siempre que en el informe preventivo o en la

manifestación de impacto ambiental, según sea el caso, se establezcan medidas de compensación en beneficio de los humedales y se obtenga la autorización de cambio de uso de suelo correspondiente”. Así, la Semarnat anulaba el compromiso de conservar los servicios ecológicos de los humedales costeros abriendo la puerta para los proyectos de desarrollo realizados a partir de concesiones de zona federal en lagunas costeras y manglares.

El enojo de las organizaciones ambientalistas fue grande y el activismo a favor de los manglares comenzó a crecer, lo que forzó a la Semarnat a establecer, en junio de 2005, un grupo de trabajo con objeto de considerar la reelaboración de la controvertida NOM 022, de manera que fuera aceptable para todos los sectores involucrados.

Durante este proceso surgió la necesidad de dar un valor a los manglares, a fin de establecer las “medidas de compensación en beneficio de los humedales” a las que hacía referencia el nuevo artículo de la NOM 022. La pregunta era, ¿cómo compensar al país y a la sociedad por la pérdida de los bosques de manglar destruidos para desarrollar proyectos privados? La respuesta gubernamental se dio poco después con la publicación de un nuevo acuerdo de la Comisión Nacional Forestal (Conafor) el 12 de abril de 2006, en el que se fijaban los costos de referencia para compensación ambiental en 11 295 pesos mexicanos por hectárea de manglar (Conafor 2006). Por menos de mil dólares, cualquier desarrollador podía comprar una hectárea de manglar para desarrollar mediante el simple procedimiento de talar los mangles y rellenar el suelo inundable.

A pesar del criterio de Conafor, permisivo con los proyectos de desarrollo y desfavorable para la conservación de los manglares, el grupo de trabajo convocado por la Semarnat siguió avanzando y para junio de 2006 tenía una serie de acuerdos logrados entre todos los sectores. La publicación de una nueva versión de la NOM 022 estaba lista y se basaba en criterios biológicos, económicos y de riesgo; la nueva

**RECUADRO 9.10** [concluye]

propuesta establecía un claro algoritmo para autorizar proyectos de desarrollo costero. El diálogo y el acuerdo entre partes parecían haber ganado.

Sin embargo, en el verano de 2006, mientras las negociaciones para la norma progresaban, la Asociación Mexicana de Desarrolladores Turísticos (Amdetur) presentó un juicio de amparo en contra de la actualización de la NOM 022. Poco tiempo después, a finales de septiembre, el Tribunal Federal de Justicia Fiscal y Administrativa en Quintana Roo otorgó la suspensión definitiva: la nueva versión de la norma, acordada por todos, no podría publicarse (Gómez 2006). La posibilidad de proteger legalmente a los manglares parecía desvanecerse.

Sin embargo, las presiones de los grupos ambientalistas no cesaron y tres meses más tarde una nueva oportunidad se presentó. Recién entrado en funciones el nuevo gobierno del presidente Felipe Calderón, el 21 de diciembre de 2006, el diputado Diego Cobo presentó una iniciativa para adicionar un nuevo artículo —el 60 ter— a la Ley General de Vida Silvestre, en el que se establecía que “queda prohibida la remoción, relleno, trasplante, poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integridad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia; de su productividad natural; de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos; de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje; o bien de las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos” (DOF 2007). Los plenos de ambas cámaras votaron a favor de la iniciativa. A pesar del amparo, la protección de los manglares había resurgido con más fuerza que antes.

El conflicto, sin embargo, continuaría. Un grupo de legisladores, algunos de ellos vinculados a los intereses de la Amdetur, presentaron durante el segundo semestre de 2007 dos iniciativas para modificar el 60 ter y abrir nuevamente las puertas a los desarrollos en el manglar (Becerril y Ballinas 2007). Hacia diciembre de 2007, las iniciativas para derogar el 60 ter avanzaban con fuerza y no parecía haber siquiera un consenso fundamentado sobre la seriedad del problema, aun entre los especialistas: en enero de 2006, firmando a nombre de la Academia Mexicana de Ciencias, un investigador del Centro de Alimentación y Desarrollo en Mazatlán criticaba las posiciones conservacionistas en un periódico de circulación nacional, argumentando que no se tenían datos duros y llamando a

no “proponer visiones catastrofistas gratuitas”. Según los datos del Inventario Nacional Forestal, argumentaba la nota, los manglares estaban en realidad aumentando en México (Ruiz-Luna 2006).

Fue en este punto cuando algunos científicos comenzamos a preocuparnos seriamente por el problema. Inspirados por los esfuerzos realizados desde la CONABIO para realizar una valoración seria del capital natural de México (volúmenes I, II y III de esta obra), algunos investigadores nos propusimos entender el problema de la conservación de los manglares desde esa perspectiva. Lo que había faltado a lo largo de todo el debate eran datos científicos serios. Muchos investigadores sospechábamos que cuando un manglar se tala para convertirlo en un desarrollo privado, la sociedad pierde más en términos de servicios ambientales que lo que gana el inversionista en términos de ganancias y plusvalía. Los inversionistas promueven el modelo, porque, creíamos, privatizan a su favor el usufructo de un recurso natural que da servicios difusos a toda la sociedad, pero el balance neto no es necesariamente positivo. El gran desafío era pasar de la creencia a la demostración, cuantificar esos servicios ambientales y hacerlos del conocimiento público.

Varios grupos de investigación comenzaron, de manera coincidente, a trabajar en este problema. Desde el Instituto de Ecología en Xalapa (Inecol), donde hay una larga tradición de investigación en humedales costeros, varios investigadores redoblaron sus esfuerzos para cuantificar el grado de deterioro de lagunas costeras y el valor de los manglares. En la CONABIO, apoyados por su infraestructura basada en cartografía digital, se inició un importante esfuerzo para cuantificar la extensión actual de los manglares mexicanos. Por otro lado, a finales de 2006, junto con Octavio Aburto, quien en ese entonces era estudiante de doctorado en el Instituto Scripps de Oceanografía, en La Jolla, California, decidimos comenzar un estudio para entender el valor de los manglares como hábitat de reproducción de especies pesqueras que luego son capturadas en mar abierto.

En efecto, un gran número de especies de alto valor pesquero, como lisas, pargos y meros, pasan las etapas juveniles de su ciclo de vida entre las raíces de los manglares rojos, el “manglar de franja” donde encuentran refugio y alimento. La hipótesis que nos propusimos poner a prueba era que a mayor cantidad de mangle en la costa, mayor sería la pesca en el mar abierto inmediatamente cercano. Con datos de las estaciones de acopio pesquero de la Conapesca, junto con datos de superficie de manglar de Ducks Unlimited de

México, A.C. (DUMAC), comenzamos a explorar esta hipótesis y rápidamente encontramos una relación que creíamos podía aparecer. Por cada hectárea de mangle rojo en la costa, las pesquerías de mar abierto capturan unas 13 toneladas de peces que provienen de esos manglares, con un valor en la panga de 37 000 dólares para el pescador.

El resto fue relativamente fácil: si la renta anual del capital natural es de 37 000 dólares, es posible calcular el valor del capital que provee esa renta. Utilizando técnicas económicas sencillas pudimos calcular que el valor pesquero de los mangles rojos es de unos 605 000 dólares por hectárea (en un periodo de 30 años), y para las 13 regiones costeras del Golfo de California los manglares produjeron un promedio de 11 600 toneladas anuales de peces y jaibas entre 2001 y 2005, un promedio anual de 19 millones de dólares para los pescadores locales (Aburto-Oropeza *et al.* 2008). Confrontados con la información científica rigurosa, los legisladores que impulsaban la derogación de la legislación que protegía los manglares comenzaron a cambiar su opinión. El 28 de enero de 2008, la Universidad Iberoamericana convocó a un foro público para discutir el tema entre científicos y gobierno. Aunque habían confirmado su asistencia, el senador Guillermo Tamborrel, promotor de la iniciativa para derogar el 60 ter, y el director de Fonatur, Miguel Gómez Mont, no asistieron a la reunión (Enciso 2008; Bartolomé 2008).

Aunque la técnica de análisis económico con la que contábamos haya sido sencilla, los resultados no dejaron de ser sorprendentes. Publicado en la prestigiosa revista *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* el 29 de julio de 2008, el estudio tuvo un efecto decisivo en la polémica. De manera concurrente, dos investigadores del Inecol —Óscar Pérez-Maqueo y María Luisa Martínez— publicaron junto con Robert Costanza, en junio del mismo año, un artículo en *Ambio* sobre el valor de los manglares para la protección de las costas contra huracanes y llegaron a conclusiones muy similares (Costanza *et al.* 2008). Haciendo el cálculo para la totalidad de los bosques de manglares, y no sólo para el manglar de franja, encontraron valores medios de los servicios ambientales de cerca de 10 000 dólares por hectárea, con máximos en algunas regiones de hasta 50 000 dólares.

Esos estudios identificaban solamente el valor de los servicios ambientales que proveían los manglares en pesquerías y para la protección de costas. ¿Cuánto valdrían, entonces, los otros servicios, como captura de contaminantes, sitios para ecoturismo, regulación del clima local, hábitat para la vida silvestre, captura y retención de gases de invernadero, protección de los efectos del ascenso del nivel del mar y el cambio climático, entre otros? La falacia de la norma de

Conafor (desafortunadamente todavía vigente, véase Conafor 2011) quedaba demostrada. El valor de compensación de los manglares no era de mil dólares por hectárea; era de cientos de miles de dólares, o en algunos casos, posiblemente de millones.

Los medios tomaron la noticia y la información comenzó a diseminarse con fuerza insospechada. Presionados por la opinión pública, los legisladores que promovían el proyecto decidieron suspender la iniciativa en febrero de 2008 (Becerril 2008; *Reforma* 2008). En particular, el senador Guillermo Tamborrel, quien había sido el principal promovente de la iniciativa, comenzó a interesarse por la investigación que se había hecho, empezó a leer, a enterarse de los argumentos que esgrimían los investigadores. Comprensiva e inteligentemente, abordó el concepto de servicios ecosistémicos y comenzó a descifrar la idea del capital natural y de su valor social.

El 29 de octubre de 2010 se produjo la noticia esperada por todos los que habíamos trabajado juntos en esta investigación: el presidente de la Comisión de Turismo del Senado, Luis Coppola, junto con los senadores Guillermo Tamborrel y Sebastián Calderón, solicitó al pleno de la Cámara el retiro definitivo de la iniciativa que pretendía reformar el artículo 60 ter de la Ley de Vida Silvestre (Becerril 2010). La transformación había sido completa: “No vamos a destruir el medio ambiente para satisfacer a desarrolladores voraces”, advirtieron los legisladores, en un acto de sensibilidad. Era, en mi opinión, un cambio sincero y honesto: los promoventes de la legislación que abriría las puertas a la destrucción de los humedales costeros se cuentan ahora, de buena fe, entre sus principales defensores.

Desde entonces, la evidencia científica al respecto en México y el mundo ha ido en constante aumento. Ahora hay estimaciones del importante papel que tienen los manglares como barrera contra el ascenso del nivel del mar y el cambio climático, por ejemplo, y hemos cuantificado también su función en la captura de bióxido de carbono y en la de gases de invernadero.

La historia de la conservación de los manglares es testimonio elocuente de lo que los científicos podemos lograr cuando nos comprometemos con las mejores causas de la sociedad. La argumentación rigurosa y el pensamiento comprometido de un pequeño grupo de personas pueden transformar la realidad. En verdad —y parafraseando a Margaret Mead—, ninguna otra cosa ha sido capaz de hacerlo.

1 La NOM-022-SEMARNAT-2003 establece también que “toda obra de canalización, interrupción de flujo o desvío de agua que ponga en riesgo la dinámica e integridad ecológica de los humedales costeros, quedará prohibida”.

uso a partir del conocimiento de sus atributos estructurales y capacidad de regeneración (capítulo 4 del volumen I). Se debe promover la restauración de los ecosistemas más que la simple reforestación, ya que se ha impulsado ésta en tierras degradadas con poco éxito, sin considerar que uno de los primeros pasos debe ser el restablecimiento de las condiciones hidrológicas y microtopográficas adecuadas (Ramírez *et al.* 2010).

Tanto en *Capital natural* como en la *Evaluación de los ecosistemas del milenio* se concluye que, para guiar las políticas públicas ambientales, la investigación se debe centrar de manera importante en el tema de los servicios ambientales y el uso sustentable de los ecosistemas y la biodiversidad (cuadro 9.4). Dentro del tema de servicios ambientales resaltan tres subtemas principales: *a*] la necesidad de conocer con mayor detalle el modo en que las sociedades humanas y su bienestar dependen de los servicios ambientales, *b*] la adecuada valoración económica y ecológica para análisis de costo-beneficio de diversos esquemas de manejo de los ecosistemas, que ayuden a guiar la toma de decisiones que los afectan y *c*] el efecto de las actividades humanas en la provisión de estos servicios. La vulnerabilidad de las diversas poblaciones ante las transformaciones de los ecosistemas y la degradación de servicios ambientales acaparan de igual modo las necesidades de investigación, haciendo un énfasis especial en entender los factores ecológicos, socioeconómicos e institucionales que determinan los diferentes patrones de vulnerabilidad (cuadro 9.4). En lo que se refiere al uso sustentable de los recursos naturales, se subraya la necesidad de conocer las implicaciones de diversos esquemas de manejo en la provisión de servicios ambientales y la permanencia de la biodiversidad, así como la determinación de la sustentabilidad de las tasas de extracción de especies, en particular de las marinas y costeras (véase el cuadro 9.1).

Uno de los mayores retos es implementar estrategias encaminadas a salvaguardar los hábitats y las poblaciones de especies que requieren atención urgente. Para desarrollar mejores estrategias es importante apoyarse en información ecológica básica, como en el caso de las tortugas marinas y las aves rapaces migratorias, de las que se requiere información sobre sus rutas de migración, sitios de alimentación y cuantificación del alcance de las presiones directas y los efectos sinérgicos a lo largo de su área de distribución para influir en la reducción de las mismas (véase el capítulo 11 del volumen II). Asimismo, sigue vigente la identificación de áreas representativas de la diversidad biológica del país, sobre todo considerando

el ritmo acelerado que la degradación ambiental impone, sumado al hecho de que varios ecosistemas en el país carecen de protección, y por lo tanto requieren esfuerzos de conservación. Los análisis de vacíos y omisiones para la conservación de la biodiversidad (CONABIO *et al.* 2007a, b; CONABIO y Conanp 2010; capítulo 16 del volumen II), que resultaron del uso de miles de datos primarios de biodiversidad<sup>4</sup> y de una gran cantidad de información cartográfica, son de utilidad para guiar una selección más eficiente de áreas con instrumentos de conservación *in situ*.

Estos análisis deberán actualizarse a la luz de nuevos datos sobre la biodiversidad y los cambios que se presenten sobre su estado de conservación, entre otros aspectos (p. ej., conocimiento acerca de la resiliencia de los ecosistemas, factores de amenaza a la biodiversidad como el cambio climático) (capítulo 16 del volumen II).

Cualquier estrategia de conservación tenderá a ser incompleta o partirá de una base endeble si no se articulan los instrumentos y programas para la conservación y el desarrollo sustentable con una visión de política ambiental territorial y transversal a todos los sectores (capítulos 3 y 7 del volumen III; Sarukhán *et al.* 2012), y sin el sólido respaldo de la sociedad, para lo cual es necesario fomentar tanto la educación ambiental como la divulgación científica entre los diversos sectores de la sociedad. Las estrategias de educación ambiental deben partir del conocimiento de las percepciones locales del entorno natural, los servicios ecosistémicos y la importancia dada a la conservación, para ajustar la comunicación de las mismas al lenguaje, conceptos, preocupaciones y necesidades que caracterizan a las comunidades asentadas en las diversas zonas rurales y urbanas del país (capítulo 18 del volumen II). Es importante identificar los factores relacionados con la presencia de una cultura ambiental y un consumo ambientalmente responsable —en el caso de las poblaciones urbanas—, y reconocer aquellos elementos culturales que promueven un manejo sustentable de los recursos naturales —en el caso de las poblaciones rurales— (capítulos 16 y 17 del volumen I, y capítulos 1 y 17 del volumen II).

En este mismo tenor debe hacerse un esfuerzo de reflexión acerca de las consecuencias de no valorar adecuadamente el capital natural, lo que ha llevado a una grave sobreexplotación de los recursos pesqueros y forestales, sin que esto haya servido para sacar de la pobreza a millones de mexicanos que dependen de dichos recursos. De lo anterior surgen preguntas como: ¿cuáles son los eslabones de la cadena productiva que están siendo afec-

tados por la inequitativa distribución de las ganancias derivadas de la explotación del capital natural? y ¿cómo afecta la exportación de materias primas al extranjero la sobreexplotación del capital natural y cuál es su efecto sobre el bienestar y la seguridad alimentaria de las comunidades locales?

Es decir, una sólida estrategia para el desarrollo requiere políticas para la protección y el uso sustentable de la biodiversidad, así como las de fomento al bienestar y desarrollo social, que consideren las dimensiones ambientales, sociales, culturales y económicas (Sarukhán *et al.* 2012).

#### 9.4 REFLEXIONES

La idea de que un mayor conocimiento de la biodiversidad puede mejorar la gestión de los recursos naturales ha permeado en los últimos años en diversos ámbitos; en efecto, la información que ha compilado y generado la CONABIO por más de 20 años es ampliamente consultada por diversos sectores (CONABIO 2012a). Esta tendencia se observa en todo el mundo, razón por la cual numerosos países participan en las redes de información como el GBIF, que dan acceso a datos sobre biodiversidad, o en plataformas como la red subglobal de evaluación de los ecosistemas (SGA), que surgió de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MA), o en IPBES y GEO BON, que promueven el desarrollo de evaluaciones científicas para vincular la ciencia con las políticas públicas relacionadas con el bienestar humano y la conservación de la naturaleza (véase el capítulo 7 de este volumen).

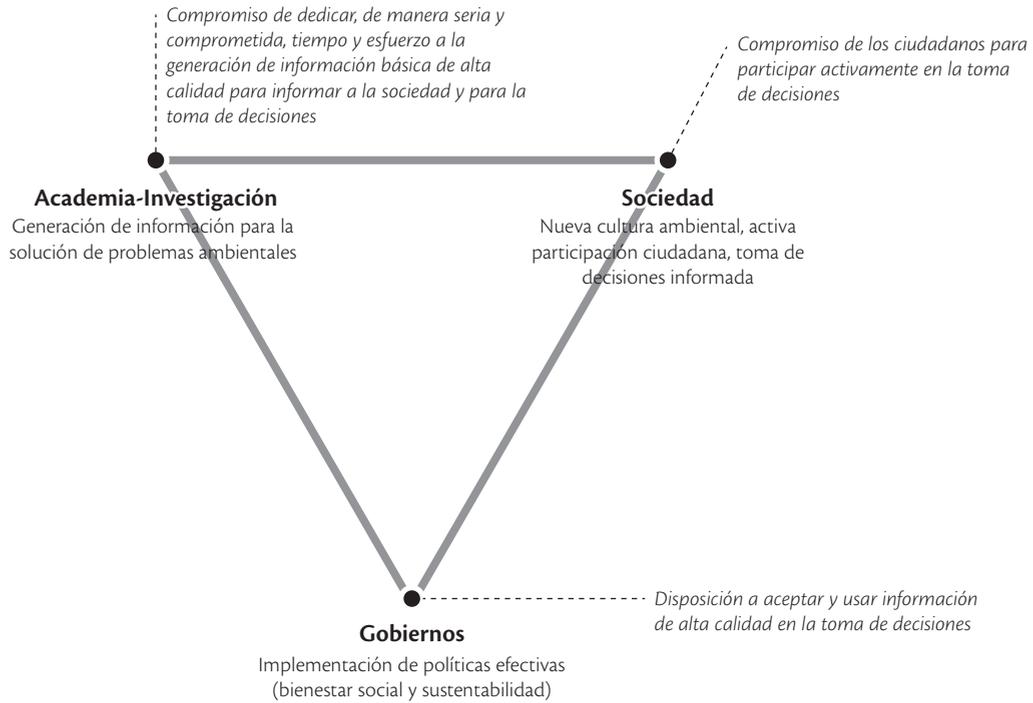
No obstante, continuamente nos enfrentamos a la complejidad para medir y entender la biodiversidad, ya que implica un amplio rango de variación biótica, desde el nivel de los genes hasta el de los ecosistemas, por lo que no existe una sola medida que capture de forma integral la manera en que se relacionan todos sus componentes. Estas dificultades crean polémica en los ámbitos científicos y públicos para poder medir las tendencias de cambio; sin embargo, no cabe duda de que la pérdida de diversidad biológica, en todos los niveles, continúa a tasas alarmantes a causa de las actividades humanas. En este contexto resulta relevante conocer los efectos de la pérdida de la biodiversidad en el funcionamiento de los ecosistemas y las consecuencias que ello tiene para la calidad de vida de los humanos y para la sobrevivencia misma de nuestras sociedades. Hay esfuerzos notables en ese sentido, pero son pequeños en comparación con la

magnitud de nuestro desconocimiento sobre la biodiversidad (Purvis y Hector 2000).

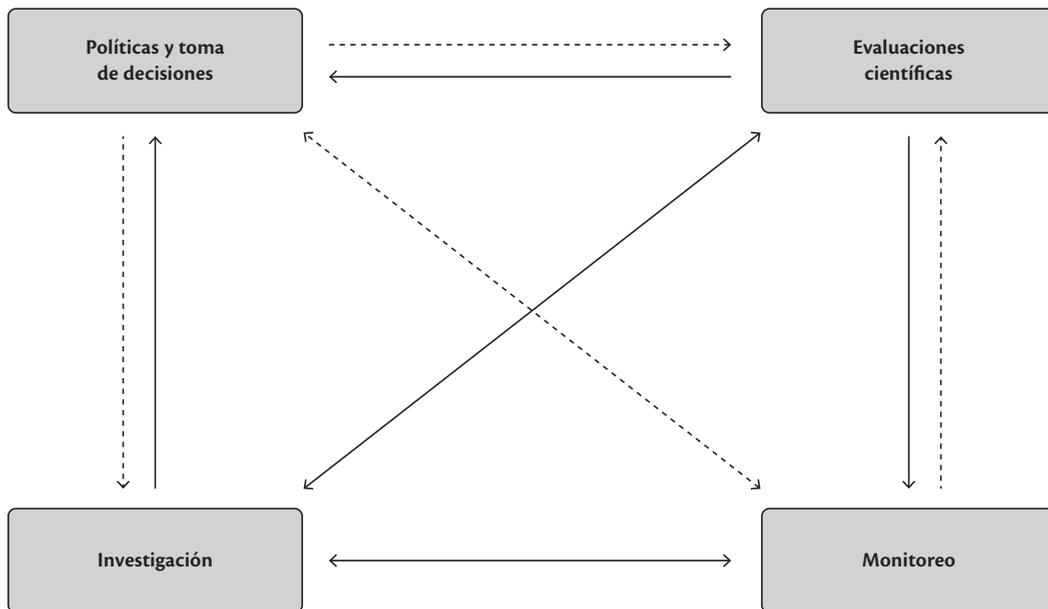
La figura 9.1 ilustra que para cubrir los vacíos de conocimiento para apoyar la toma de decisiones es necesario fortalecer la investigación básica y aplicada, pero también lo es tener una mejor comprensión de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Producir el conocimiento necesario sobre estos aspectos permitirá obtener las valoraciones pertinentes para ponderar los costos y beneficios asociados a los diversos usos y transformaciones de los ecosistemas, en los ámbitos nacional e internacional.

Si agrupamos los sectores de la sociedad en tres grandes grupos, como se sugiere en la figura 9.4, podemos ilustrar las acciones que idealmente deberían tener lugar: *i*] transmisión de conocimiento a la sociedad para que sea un actor interesado en ese esfuerzo; *ii*] el conocimiento generado, con grupos interdisciplinarios, deberá influir en la toma de decisiones, por ello toda la información producida debe ser pública, accesible y comprensible para los diferentes usuarios; *iii*] participación y compromiso de los distintos órganos de gobierno, sin los cuales no se podrán implementar políticas efectivas que lleven a la conservación y el uso sustentable de los recursos naturales y que influyan en el bienestar de la sociedad, y *iv*] el conocimiento que se genere debe integrarse estratégicamente y responder a las necesidades de los diversos usuarios (Sarukhán 2010). La interacción de los componentes que soportan el desarrollo y la implementación de las respuestas debe tener un proceso de retroalimentación (figura 9.5); con ese fin es útil contar con indicadores (datos básicos e información analizada y sintetizada) para que la información pueda ser comunicada de manera clara y eficiente, por lo que adicionalmente se requiere *v*] evaluar con mayor precisión el flujo en las interacciones de los diversos componentes, para lo cual deberán responderse las preguntas del cuadro 9.5 desde la perspectiva de los diversos sectores.

Se debe promover la idea de que los servicios ambientales proporcionados por los ecosistemas van más allá de la provisión de materia prima para la supervivencia de las sociedades humanas, lo cual apenas ha sido reconocido pero no suficientemente valorado para plasmarse en la mayoría de las políticas públicas. Aunque ya hay avances respecto al conocimiento de los servicios ambientales proporcionados por el capital natural (ecosistemas y biodiversidad) y su papel en el bienestar humano (Díaz *et al.* 2005; capítulo 4 del volumen II), se requiere un mayor seguimiento de su estado actual y las tendencias de provisión de estos servicios en los ámbitos nacional, regional



**Figura 9.4** Modelo conceptual de los tres ejes clave para un compromiso claro y definido en la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad (basado en Sarukhán 2010).



**Figura 9.5** Modelo de la interacción de los componentes de soporte del desarrollo y la implementación de las respuestas basadas en conocimiento y tendencias de cambio. Las líneas continuas indican que existe flujo de información, mientras que las líneas punteadas, que éste es deficiente o inexistente (basado en MA 2005).

**Cuadro 9.5** Preguntas que deben guiar la evaluación del papel que tienen los diversos actores de una sociedad en la toma de decisiones, investigación, monitoreo y evaluación de la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad (véase la Fig. 9.4)

	<b>Toma de decisiones</b>	<b>Investigación</b>	<b>Monitoreo</b>	<b>Evaluación</b>
Academia > gobierno	¿Qué papel desempeña la academia al diseñar, modificar y proponer herramientas y modelos de gestión pública?	¿La academia proporciona información adecuada y comprensible para una gestión informada?	¿Apoya la academia los esfuerzos de monitoreo que debiera implementar el gobierno para el seguimiento del estado de conservación de los ecosistemas y la biodiversidad?	¿Apoya la academia la evaluación de las políticas públicas en relación con su alcance sobre los ecosistemas y la biodiversidad?
Gobierno > academia	¿Proporciona el gobierno a la academia diagnósticos de las necesidades de información que guíen la investigación?	¿Hay presupuesto suficiente para la investigación aplicada a la gestión?	¿Involucra el gobierno a la academia en los programas de monitoreo de la biodiversidad y apoya con presupuesto suficiente para esta tarea?	¿Se apoya el gobierno en la academia para la realización de evaluaciones de sus políticas e instrumentos de gestión?
Gobierno > sociedad	¿El gobierno es eficaz al imponer leyes y normas para la implementación de sus instrumentos de gestión?	¿Involucra el gobierno a la sociedad en la creación, diseño e implementación de sus políticas e instrumentos de gestión? (gobernabilidad)	¿Se apoyan y organizan redes de monitoreo ciudadano?	¿Existe comunicación eficiente de los resultados de la gestión en materia de biodiversidad? ¿Se involucra a la sociedad en la comprensión, importancia y resolución de problemas ambientales?
Sociedad > gobierno	¿Qué tan participativa es la sociedad en el diseño e implementación de las políticas y herramientas de gestión? ¿Qué tan eficaz es su participación? ¿Favorece la gobernabilidad?	¿La sociedad exige que se invierta en investigación, fundamental para mejorar las capacidades y la toma de decisiones?	¿Qué tan participativa es la sociedad en los programas de monitoreo en curso organizados por el gobierno?	¿Existen diagnósticos y evaluaciones de ciudadanos sobre la gestión ambiental?
Academia > sociedad	¿La academia provee acceso a la información que genera para diferentes sectores de la sociedad?	¿Se apoya y organiza la ciencia ciudadana? ¿Es adecuada la educación científica y la difusión de la ciencia entre la sociedad?	¿Se apoyan y organizan redes de monitoreo ciudadano?	¿La academia difunde en un lenguaje comprensible y en un formato atractivo los resultados de las evaluaciones de las políticas e instrumentos de gestión a la sociedad?
Sociedad > academia	¿La sociedad usa la información de la academia para la toma de decisiones en los distintos ámbitos de su vida diaria? ¿Hay retroalimentación y diálogo? ¿Hay respuesta del gobierno cuando se llega a iniciativas relevantes y bien informadas?	¿La sociedad es participativa y responde a las convocatorias de la academia para involucrarla en la investigación científica y difusión de la información?	¿Responde la sociedad a las convocatorias de la academia para involucrarse en redes de monitoreo ciudadano?	¿La sociedad entiende la importancia del quehacer científico?

**RECUADRO 9.11** INTERFASE DE LOS DOMINIOS DE LA CIENCIA Y DE LA GESTIÓN PÚBLICA

Yosu Rodríguez

Se puede afirmar que México cuenta con un acervo de conocimiento fundamental (siempre incompleto) sobre el capital natural, sus características, el potencial que representa para el desarrollo y el bienestar social, la forma en que se pierde y deteriora, y cómo se debería aprovechar, conservar y recuperar (Sarukhán *et al.* 2009). En la obra *Capital natural de México* se destacan los avances en el conocimiento de la biodiversidad del país, su estado de conservación y tendencias de cambio, y las políticas que han afectado positiva o negativamente su conservación, así como los retos que se enfrentan y el capital humano y organizacional dedicado a ello; además, da cuenta de los avances en la gestión y de los obstáculos que impiden que se avance al ritmo y en el rumbo que se requiere. Uno de los retos es la falta de claridad colectiva sobre la interfase de los dominios de la ciencia y de la gestión pública, que se expresa en una inadecuada dinámica en el intercambio y la transferencia de conocimiento entre ambos dominios. Este recuadro explora un posible modelo para entender dicha interfase y presenta una serie de propuestas para avanzar en la necesidad apremiante de acercar a gestores y científicos, es decir, que las decisiones se basen en la mejor información científica disponible y que los científicos apoyen la gestión con sus investigaciones.

**EL MODELO**

El modelo se basa en la idea de que hay una interfase de los dominios de la ciencia y de la gestión pública. Esta interfase es el espacio de encuentro entre hechos, valores y necesidades apremiantes. La ciencia genera información sólida y validada que debería considerarse por la gestión pública en la toma de decisiones (Turnhout *et al.* 2007). La dinámica de los dominios es diferente: la gestión pública se ve rebasada muchas veces por la urgencia con la que se debe responder (sin detenerse en lo importante) y la ciencia puede requerir más tiempo (por las características propias del método científico y para validar los hallazgos). Hay además otros factores en los que se ven inmersos, en un contexto social, financiero y político.

La interfase puede entenderse como la transferencia de conocimiento del dominio de la ciencia al de la gestión pública, el intercambio de conocimientos o de los vacíos de información entre ambos dominios o la respuesta de la comunidad científica al generar información para cubrir necesidades de información de los gestores, o bien como una mezcla que incluya el conocimiento vernáculo. En ciertos

momentos se comporta de una manera y en otros de otra. La interfase se compone de objetos, instrumentos (*standardized packages*) y organizaciones (*boundary organizations*), ya sea explícita o implícitamente (Guston 2001). Ejemplos de los primeros pueden ser las evaluaciones científicas o los documentos dedicados al monitoreo (p. ej., indicadores ambientales y de sustentabilidad, la obra *Capital natural de México*, la *Evaluación de los ecosistemas del milenio*, los productos GEO del PNUMA) y otros que se colocan en distintas partes del espectro de la interfase. Los instrumentos son consejos consultivos, comités técnicos asesores, redes formales de conocimiento y organizaciones puente o de interfase, instituciones como CONABIO, INECC, IMTA, y en alguna medida programas o proyectos de dependencias de la UNAM o del Conacyt, entre otros.

**CICLOS DE LA INTERFASE**

Lo que hace falta es comprender mejor la dinámica de la interfase y actuar en consecuencia. A partir de la aparición (percepción) de un problema, que puede ser detectado en cualquier dominio, se actúa y se investiga (la mayoría de la veces de manera asincrónica). La interfase es dinámica cuando se inician conversaciones sociales entre los dos dominios para obtener soluciones con soporte científico y viabilidad en la gestión pública. De lograr lo anterior, se puede afirmar que se realizó un ciclo completo.

Desde la perspectiva del dominio de la ciencia hay todo un tramo del ciclo, que va desde la investigación y los resultados hasta obtener objetos de la interfase, instrumentos o acciones de las organizaciones. En su construcción pueden intervenir no sólo científicos, sino también miembros de organizaciones de la sociedad civil y de la gestión pública. Sin embargo, se requiere un esfuerzo adicional para lograr convertirlos en objetos o instrumentos de la gestión pública (políticas, leyes, programas, estrategias, métodos de evaluación reglamentados, entre otros) y fortalecer y construir organizaciones de interfase (que deben responder tanto a requerimientos científicos como de política pública, un equilibrio difícil de lograr). Es importante, en esos casos, contar con métodos para la evaluación de los ciclos, tanto para entender las fases de los mismos como para valorar la calidad de los resultados.

Hay tres aspectos muy importantes en la realización de estos procesos que son determinantes para la calidad del ciclo de la interfase y sus resultados: a) convención de significados,

b) las conversaciones sociales y c) la información y el conocimiento que se maneja y cómo se trata.

En muchas ocasiones se da por hecho que se entiende lo mismo sobre conceptos clave para la construcción de la gestión pública, por ejemplo, cuenca hidrológica (concepto de gestión pública, sólo en México) *versus* cuenca hidrográfica (concepto fisiográfico utilizado en todos los países de lengua castellana). No tener claridad en los términos dificulta la aplicación de instrumentos de gestión pública; un ejemplo es la cuenca hidrológica Lerma-Chapala, que no es sólo una, puesto que incluye las cuencas de Cuitzeo y de Pátzcuaro, que son cuencas hidrográficas endorreicas y por tanto deberían tener sus propios consejos de cuenca, ya que no hay conectividad de agua superficial.

Asimismo hace falta claridad sobre cómo establecer de manera adecuada las conversaciones sociales en los diferentes espacios funcionales o temáticos de la gestión pública (forestal, hídrico, vida silvestre, áreas naturales protegidas, corredores biológicos, cuencas) y los territorios jurídicamente determinados (estados, municipios, núcleos agrarios) que son la vía del ejercicio de la política pública. Al respecto, aún no se ha establecido en forma concertada un proceso que oriente la evolución de estos mecanismos institucionales, lo que supone vincular lo sectorial con lo territorial de manera adecuada, además de que hay ausencias básicas para garantizar la adecuada representatividad de los participantes y la corresponsabilidad en la gestión (el avance de la gobernanza). El reto actual es desarrollar y difundir modelos y metodologías para lograr conversaciones sociales profesionalmente estructuradas, que mejoren los procesos (ciclos) entre ciencia y gestión pública, entre lo sectorial y lo territorial.

Además, no ha sido del todo comprendido que la investigación debe ser parte de la gestión pública y, por su parte, que se debe promover en la investigación científica el estudio de las necesidades de conocimiento de la gestión pública. Para ello es necesario establecer vínculos y alianzas entre los centros de investigación y las instituciones que realizan la gestión pública, a fin de enlazar de manera eficiente la investigación que se da en el dominio de la ciencia y la necesidad de aplicaciones útiles en el dominio de la gestión. Por lo tanto, se requieren instancias que lleven a cabo esa labor de interés público, especializadas en brindar información pertinente y presentada en forma adecuada; en general faltan intermediarios, traductores, facilitadores o no están explícitamente reconocidos (en centros de investigación, dependencias de gobierno, organizaciones de la sociedad civil). El reto es encontrar y desarrollar los modelos, las metodologías y los instrumentos para llevar a cabo esta tarea.

Un ejemplo de desconexión entre la generación de conocimiento y la aplicación del mismo es el caso de los

fondos mixtos y sectoriales del Conacyt: los estados y las secretarías presentan sus demandas y convocan a las instituciones de investigación a cubrir sus necesidades; unos requieren resultados y otros recursos para la investigación; los tiempos de cada parte son muy diferentes y en ocasiones no se logran los resultados esperados. Lo que se necesita es establecer conversaciones para entender qué requieren unos y cuál es el estado del arte del otro para aplicar el conocimiento que se tiene, y con una política para la ciencia se debe apoyar a las instituciones científicas que hagan investigación para que con el tiempo necesario tengan conocimientos que ofrecer.

Por otra parte, las dependencias gubernamentales del sector ambiental (Semarnat, Conafor, Conagua, Conanp) ofrecen la información que generan y procesan, con los escasos recursos con que cuentan para este fin. Dan acceso vía internet o mediante reportes para cumplir los requerimientos de ley y difundirla de manera genérica desde su perspectiva, aunque no siempre resulta accesible para los usuarios. En el caso de las dependencias diseñadas para ofrecer investigación (como INECC, IMTA y CONABIO), éstas promueven investigación, aportan resultados y productos derivados de la misma y en muchos casos identifican necesidades de la gestión pública y tienen formas adecuadas de divulgación. Hay también organizaciones de la sociedad civil que se preocupan por el acceso a la información y que ayudan a mejorar los servicios de las dependencias gubernamentales, pero no atienden necesidades específicas de acceso de información para diversos usuarios. Se requiere una adecuada relación entre estos tipos de instancias para lograr una mejor divulgación de la información y el conocimiento.

#### HACIA UNA RED ESTRUCTURADA

La administración pública mexicana está estructurada en tres órdenes de gobierno. Se desarrolla de manera desigual en el ámbito del medio ambiente, pero en general avanza (véase el volumen III de esta obra y los capítulos 1 y 2 de este volumen). La sociedad civil ha dado grandes pasos y ha logrado de manera creciente, pero modesta, participar en la gestión pública ambiental. El dominio de la gestión pública tiene su propia dinámica y registra sustanciales avances, y en ello incide el dominio de la ciencia, por medio de la interfase. Desde la perspectiva del dominio de la ciencia en México hay una masa crítica suficiente para lograr un salto cualitativo en la interfase. Ejemplo de ello es la realización de esta obra de envergadura nacional para evaluar el capital natural del país, en la que han participado más de 650 académicos y profesionales mexicanos de unas 230 instituciones. Sin embargo, sería idóneo estructurar una red que impulse un cambio cualitativo en la interfase desde la perspectiva del dominio de la ciencia, para

**RECUADRO 9.11** [concluye]

lo cual es imprescindible profundizar en los procesos de convención de significados, conversaciones sociales profesionalmente estructuradas y lograr información pertinente, accesible y en formatos adecuados para diversos usuarios. Estos elementos son fundamentales para establecer la comunicación entre los participantes de la red en la interfase, desde la perspectiva del dominio de la ciencia, la cual deberá influir en el dominio de la gestión pública. Con base en ello, es importante detectar y definir los nodos líderes en la construcción de una red estructurada en el ámbito de la ciencia/interfase referida al capital natural de México.

Es claro el papel de la CONABIO, a partir del ámbito de la biodiversidad, pero será necesario contar con otras instituciones-puente en ámbitos como el forestal, hídrico, alimentario y urbano, y en espacios territoriales de mayor detalle que tengan la oportunidad de integrar las visiones sectoriales para ofrecer información y conocimiento a los gestores en el ámbito local, donde lo sectorial se combina. En el país hay personas e instituciones que pueden darle cuerpo a la red estructurada para la conservación y recuperación del capital natural de México, y mantener una matriz natural que garantice el tránsito hacia el desarrollo sustentable.

y local, incluyendo los costos ecológicos, económicos y sociales asociados a su modificación y degradación para distintos sectores de la sociedad.

En particular para México como para el resto de América Latina, es necesario obtener y actualizar la información estadística ambiental de acuerdo con estándares nacionales e internacionales. Las necesidades de información van desde datos tan básicos como contar con un número adecuado de estaciones meteorológicas en los distintos ecosistemas, así como sobre los bienes y servicios que prestan, las presiones que ejercen las actividades productivas o los indicadores del bienestar humano, hasta información y conocimiento más elaborado que permita alimentar modelos predictivos para construir escenarios y tendencias, así como fundamentar y transparentar decisiones (PNUMA 2010). Esto requiere en muchos casos mejorar y mantener sistemas de monitoreo que permitan evaluar el estado de conservación de diversos aspectos de la biodiversidad y los servicios ambientales que ésta proporciona a la sociedad (Carpenter *et al.* 2009; Pereira y Cooper 2006).

Es importante considerar que, además de cubrir huecos importantes de información, será necesario que la información sea accesible para tomadores de decisiones. Pullin y colaboradores (2004), en un análisis para el Reino Unido, concluyeron que cuando los tomadores de decisiones en materia de conservación —particularmente aquellos involucrados en el manejo práctico— enfrentan las presiones de ejecutar acciones día a día, no cuentan con el tiempo suficiente para el análisis, a pesar de tener acceso a la información primaria necesaria para juzgar la efectividad de acciones alternativas. Estos autores sugieren que se use un enfoque similar al de las ciencias de la

salud, uno de “evidencia basada en la práctica”, el cual tendría dos grandes desafíos: asegurar que los resultados de la investigación incidan en la práctica e incrementar las evaluaciones de buena calidad en la efectividad de las intervenciones.

Otras directrices que se han propuesto para facilitar la transición de la información científica a la gestión pública incluyen: 1] la creación y fortalecimiento de instituciones puente que funcionen como mediadores entre los generadores y los usuarios del conocimiento (p. ej., CONABIO, INECC, IMTA, Inapesca), que operen con visión de largo plazo, sean neutrales y cuya principal función sea la de transferir información científica a los tomadores de decisiones y atender las necesidades de investigación de los científicos, manteniendo en ambos casos los estándares académicos (Cash y Moser 2000; Soberón 2004); 2] el desarrollo y uso de indicadores ecológicos y de sustentabilidad que faciliten la inclusión de los temas de la biodiversidad en los principales procesos de toma de decisiones y la política pública, y para medir avances en conservación (Pülzl y Rametsteiner 2009; Turnhout *et al.* 2007); 3] asegurar que el proceso de transferencia de información no sea de una sola vía, es decir, éste debe involucrar la interacción de todos los actores involucrados (científicos, tomadores de decisiones, grupos de interés y la sociedad) y con un entendimiento común de los procesos en el ámbito de la ciencia y de la gestión pública (Bradshaw y Borchers 2000; Cash y Moser 2000; Rodríguez Aldabe y Rodríguez Aldabe 2007). El éxito de las acciones de conservación y de uso sustentable no depende sólo de un mejor conocimiento de los aspectos biológicos, como contar con evaluaciones sobre el estado de las poblaciones y los ecosis-

temas, y de los factores de cambio; más importante aún es el trabajo integral y transversal con otros sectores en los tres órdenes de gobierno y un arraigo en toda la sociedad de una cultura de aprecio a la biodiversidad y los servicios ambientales que ésta proporciona.

Las actividades productivas como la pesca y la producción agropecuaria son el sustento de una población en constante crecimiento y tienen uno de los mayores efectos en la sobreexplotación de especies, pérdida de hábitat y transformación de ecosistemas, por lo que la generación y constante actualización del conocimiento encaminado a desarrollar estrategias de uso sustentable de los ecosistemas y la biodiversidad (uso diversificado de la biodiversidad, tasas de aprovechamiento sustentable de especies terrestres y marinas, agroecología, agroforestería y ordenamientos ecológicos) son prioritarias.

Esto debe ser un proceso permanente, dada la rápida tasa de cambio por factores diversos, como las catástrofes por eventos meteorológicos, las presiones por el cambio de uso de suelo o los mercados no adecuados y las políticas públicas contradictorias.

Dos temas que comienzan a tomar importancia, aun cuando sus consecuencias no se han evaluado en su totalidad, son el cambio climático y el uso de organismos genéticamente modificados (OGM). Aunque las consecuencias del cambio climático habían sido advertidas por expertos tiempo atrás, no se ha evaluado profusamente la vulnerabilidad de la biodiversidad, de los ecosistemas y de las distintas comunidades humanas ante el cambio climático. En lo que respecta a los OGM, aun sin negar el potencial que podría representar su uso para la producción agrícola, es imperante que no se promueva su uso antes de evaluar y conocer a fondo sus efectos sobre el ambiente, la cultura y organización social de las comunidades humanas. En este tema es de particular relevancia no aceptar presiones comerciales y contar con el tiempo necesario para tener la información pertinente a fin de tomar decisiones adecuadas. Esto es particularmente importante si se toma en cuenta que las mismas técnicas de producción, evaluación y detección de transgenes están en constante evolución.

Revertir las tendencias de la pérdida de la biodiversidad es fundamental para la sobrevivencia humana, no sólo para la biota, cuya existencia se sustenta en millones de años de evolución y que en unas cuantas décadas ha disminuido en extremo. Siempre será más costoso, tanto en términos materiales como humanos, mantener la inercia de políticas con subsidios perversos que tienen un efecto mínimo en la conservación que considerar to-

dos los costos asociados a la conservación eficiente y eficaz del capital natural, incluyendo generar información básica necesaria para una mejor toma de decisiones (James *et al.* 1999; Sarukhán *et al.* 2012).

---

## NOTAS

- 1 Una limitante en la estimación de las tasas de extinción, y que ha llevado a dar diferentes cifras, es el hecho de no conocer el total de las especies que habitan el mundo.
- 2 Este número es una estimación de las especies incluidas en estos tres listados. La NOM-059-SEMARNAT-2001 incluía 2 583 taxones, de los cuales, en relación con la nueva versión de dicha norma, NOM-059-SEMARNAT-2010, se eliminaron 16 (14 especies y dos subespecies, y se incluyeron 82 especies nuevas); por otra parte, 213 cambiaron de categoría, de los cuales 106 pasaron de Sujeta a protección especial a Amenazada, 51 de Amenazada a En peligro de extinción, siete de Amenazada a Sujeta a protección especial, cuatro de En peligro de extinción a Probablemente extinta en el medio silvestre, 31 de Sujeta a protección especial a En peligro de extinción, cinco de En peligro de extinción a Amenazada, tres de Amenazada a Probablemente extinta en el medio silvestre, cuatro de En peligro de extinción a Sujeta a protección especial y dos de Probablemente extinta en el medio silvestre a En peligro de extinción.
- 3 El concepto de redundancia funcional es clave para entender los cambios en el funcionamiento de los ecosistemas en relación con la pérdida de biodiversidad; sin embargo, se ha malinterpretado el uso del término “especies redundantes” confundiéndolo con el de “especies prescindibles”. Por otro lado, los estudios experimentales al respecto han llegado a conclusiones sesgadas por diversas razones, entre ellas por considerar una única medida de función ecosistémica (*e.g.* producción primaria) o por utilizar comunidades bióticas seleccionadas al azar lo cual es equivalente a suponer que las extinciones ocurren al azar, cuando se conoce que esto no pasa así en la naturaleza. A pesar de constituir una de las mayores agendas de investigación en ecología, las evidencias aún son muy pobres en cuanto a demostrar la verdadera redundancia funcional en comunidades bióticas (Rosenfeld 2002).
- 4 Para llevar a cabo los análisis en el ámbito terrestre se usaron cerca de 1 100 000 registros de plantas de 146 bases de datos del SNIB y alrededor de 900 000 registros de ejemplares en 31 bases de datos de la REMIB, así como cerca de 285 000 registros de 73 proyectos del SNIB para el modelado de 2 407 especies de vertebrados terrestres. Por otro lado, los datos de la biodiversidad marina del SNIB corresponden a 153 242 registros que representan 9 253 especies (véase el capítulo 16 del volumen II; Koleff y Urquiza-Haas 2011).

## REFERENCIAS

- Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray y E. Sala. 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **105**: 10456-10459.
- Acevedo, F., E. Huerta, C. Burgeff, P. Koleff y J. Sarukhán. 2011. Is transgenic maize what Mexico really needs? *Nature Biotechnology* **29**: 23-24.
- Agardy, T., J. Alder, P. Dayton, S. Curran, A. Kitchingman *et al.* 2005. Coastal systems, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 515-549.
- Agraz, C.M., y V. Arriaga. 2010. Restauración del manglar en la Laguna de Términos, en J. Carabias, J. Sarukhán, J. de la Maza y C. Galindo (coords.). *Patrimonio natural de México. Cien casos de éxito*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- 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.
- Arriaga, V., y J.D. Fernández. 2010. Restauración ecológica de bosques incendiados, en J. Carabias, J. Sarukhán, J. de la Maza y C. Galindo (coords.). *Patrimonio natural de México. Cien casos de éxito*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Asner, G.P., D.E. Knapp, A. Balaji y G. Páez-Acosta. 2009. Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. *Journal of Applied Remote Sensing* **3**: 033543.
- Audubon. 2013. *Christmas Bird Count*, en <[www.audubon.org/conservation/science/christmas-bird-count](http://www.audubon.org/conservation/science/christmas-bird-count)> (consultado en junio de 2013).
- aVerAves. 2013. aVerAves, en <<http://www.averaves.org/>> (consultado en junio de 2013).
- Baillie, J.E.M., C. Hilton-Taylor y S.N. Stuart. 2004. *IUCN red list of threatened species: A global species assessment*. International Union for Conservation of Nature, Gland.
- Baillie, J.E.M., y E.R. Butcher. 2012. *Priceless or worthless? The world's most threatened species*. Zoological Society of London, Londres
- Balvanera, P., C. Kremen y M. Martínez-Ramos. 2005. Applying community structure analysis to ecosystem function: Examples from pollination and carbon storage. *Ecological Applications* **15**: 360-375.
- Bartolomé, F. 2008. Columna "Templo Mayor". *Periódico Reforma*, 29 de enero de 2008.
- Beattie, A.J., W. Barthlott, E. Elisabetsky, R. Farrel, C.T. Khen *et al.* 2005. New products and industries from biodiversity, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, vol. 1. *Findings of the condition and trends working group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 271-295.
- Becerril, A. 2008. Recula el PAN: retira iniciativa para modificar la ley de vida silvestre. Guillermo Tamborrel insiste en una alternativa que combine desarrollo y conservación. *La Jornada*, 23 de febrero de 2008, en <[www.jornada.unam.mx/2008/02/23/index.php?section=politica&article=015n1pol](http://www.jornada.unam.mx/2008/02/23/index.php?section=politica&article=015n1pol)> (consultado en mayo de 2013).
- Becerril, A. 2010. Cierre definitivo de proyecto que permitiría destruir manglares. *La Jornada*, 31 de octubre de 2010, en <[www.jornada.unam.mx/2010/10/31/sociedad/033n1soc](http://www.jornada.unam.mx/2010/10/31/sociedad/033n1soc)> (consultado en mayo de 2013).
- Becerril, A. y V. Ballinas. 2007. Senadores de PRI y PAN, por aprobar legislaciones que destruirán manglares. *La Jornada*, 13 de diciembre de 2007, en <[www.jornada.unam.mx/2007/12/13/index.php?section=sociedad&article=050n1soc](http://www.jornada.unam.mx/2007/12/13/index.php?section=sociedad&article=050n1soc)> (consultado en mayo de 2013).
- Bell, S., M. Marzano, J. Cent, H. Kobierska, D. Podjed *et al.* 2008. What counts? Volunteers and their organizations in the recording and monitoring of biodiversity. *Biodiversity and Conservation* **17**: 3443-3454.
- Bhattacharjee, Y. 2005. Citizen scientists supplement work of Cornell researchers. *Science* **308**: 1402-1403.
- Booney, R., C.V. Cooper, J. Dickinson, S. Kelling, T. Phillips *et al.* 2009. Citizen science: A developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience* **59**: 977-984.
- Bradshaw, G.A., y J.G. Borchers. 2000. Uncertainty as information: Narrowing the science-policy gap. *Conservation Ecology* **4**: 7.
- Bradshaw, C.J.A., X. Giam y N.S. Sodhi. 2010. Evaluating the relative environmental impact of countries. *PLoS One* **5**: 2-16.
- Brook, B.W., N.S. Sodhi y C.J.A. Bradshaw. 2008. Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology and Evolution* **23**: 453-460.
- Brossard, D., B. Lewenstein y R. Bonney. 2005. Scientific knowledge and attitude change: The impact of a citizen science project. *International Journal of Science Education* **27**: 1099-1121.
- Brusca, R., y J. Gary. 2002. *Invertebrates*. Sunderland, Sinauer Associates.
- Butchart, S.H.M., M. Walpole, B. Collen, A. van Strien, J.P.W. Scharlemann *et al.* 2010. Global biodiversity: Indicators of recent declines. *Science* **328**: 1164-1168.

- Cairns, M.A., P.K. Haggerty, R. Álvarez, B.H.J. De Jong e I. Olmsted. 2000. Tropical Mexico's recent land-use change: A region's contribution to the global carbon cycle. *Ecological Applications* **10**: 1426-1441.
- Cantú, J.C., H. Gómez de Silva y M.E. Sánchez. 2011. *El dinero vuela. El valor económico del ecoturismo de observación de aves*. Defenders of Wildlife, Washington, D.C.
- Carabias, J., J. Sarukhán y G. García Méndez. 2006. La restauración ecológica y la formación de profesionistas, en A. Barahona y L. Almeida-Leñero (coords.), *Educación para la conservación*. Facultad de Ciencias-UNAM, Programa Universitario del Medio Ambiente. México, pp. 403-411.
- Carabias, J., M. Molina, y J. Sarukhán. 2010. *El cambio climático: causas, efectos y soluciones*. DGE Equilibrista-Fundación Coca-Cola, México
- Carpenter, S.R., R. Defries, T. Dietz, H.A. Mooney, S. Polasky et al. 2006. Millennium Ecosystem Assessment: Research needs. *Science* **314**: 257-258.
- Carpenter, S.R., H.A. Mooney, J. Agard, D. Capistrano, R.S. De Fries et al. 2009. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **106**: 1305-1312.
- Cash, D.W., y S.C. Moser. 2000. Linking global and local scales: Designing dynamic assessment and management processes. *Global Environmental Change* **10**: 109-120.
- Cash, D.W., W.C. Clark, F. Alcock, N.M. Dickson, N. Eckley et al. 2003. Knowledge systems for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **100**: 8086-8091.
- Cash, D.W., W. Adger, F. Berkes, P. Garden, L. Lebel et al. 2006. Scale and cross-scale dynamics: Governance and information in a multilevel world. *Ecology and Society* **11**: 8.
- Cavazos, T., J.A. Salinas, B. Martínez, G. Colorado, P. de Grau et al. 2013. Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la quinta comunicación nacional. Informe final del proyecto al INECC, México, en <<http://escenarios.inecc.gob.mx/index2.html>>.
- CCA. 2010. *Cobertura del suelo, 2005*. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, Montreal.
- Ceballos, G., A. García y P.R. Ehrlich. 2010. The sixth extinction crisis loss of animal populations and species. *Journal of Cosmology* **8**: 1821-1831.
- Cerdeira Estrada, S., y G. López Saldaña. 2011. A novel Satellite-based Ocean Monitoring System for Mexico. *Ciencias Marinas* **37**: 237-247.
- Challenger, A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. CONABIO-Instituto de Biología, UNAM-Agrupación Sierra Madre, México.
- Chazdon, R.L., C.A. Harvey, O. Komar, D.M. Griffith, B.G. Ferguson et al. 2009. Beyond reserves: A research agenda for conserving biodiversity in human-modified tropical landscapes. *Biotropica* **41**: 142-153.
- CITES. 2010. Lista de las especies de la CITES, en <<http://checklist.cites.org/>> (consultado en noviembre de 2010).
- COAX. 2010. Club de Observadores de Aves de Xalapa, en <<https://www.facebook.com/groups/455364291232261/>> (consultado en agosto de 2010).
- Cochrane, M.A. 2003. Fire science for rainforests. *Nature* **421**: 913-919.
- Cohn, J. 2008. Citizen science: Can volunteers do real research? *BioScience* **58**: 192-197.
- Colditz, R., G. López Saldaña, P. Maeda, J. Argumedo Espinoza, C. Meneses Trovar et al. 2012. Generation and analysis of the 2005 land cover map for Mexico using 250 m MODIS data. *Remote Sensing of Environment* **123**: 541-552.
- Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. 2010. *Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación*. CONABIO-Conanp-Semarnat, México
- CONABIO. 2006. Documento base sobre centro de origen y diversidad en el caso del maíz en México, en <[www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc\\_CdeOCdeDG.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc_CdeOCdeDG.pdf)>.
- CONABIO. 2009. *Ampliación del Corredor Biológico Mesoamericano-México, en los estados de Tabasco, Oaxaca y Veracruz*. Informe técnico interno. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México
- CONABIO. 2010. *Especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2001 o en la lista roja de la UICN. 2010*. Base de datos SNIB-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONABIO. 2011a. Elementos para la determinación de centros de origen y centros de diversidad genética para el caso de los maíces de México a partir de los resultados del proyecto "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces nativos y sus parientes silvestres en México" (2006-2011). Documento interno, en <[http://biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Elementos\\_recursosGeneticos\\_maices.pdf](http://biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Elementos_recursosGeneticos_maices.pdf)>.
- CONABIO. 2011b. *Sitios prioritarios para la conservación en Chiapas*. Informe técnico interno. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONABIO. 2012a. *Estrategia Mexicana para la Conservación Vegetal, 2012-2030*. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- CONABIO. 2012b. Especies domesticadas en México, en <[www.biodiversidad.gob.mx/genes/otrosCentros.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/otrosCentros.html)> (consultado en octubre de 2012).

- CONABIO. 2012c. Proyecto global de maíces nativos, en <http://biodiversidad.gob.mx/genes/maicesInfGest.html> (consultado en octubre de 2012).
- CONABIO. 2013. Manual del usuario de aVerAves. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, en [http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/scripts\\_aves/docs/m\\_usuario\\_aVerAves\\_extenso.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/scripts_aves/docs/m_usuario_aVerAves_extenso.pdf) (consultado en agosto de 2013).
- CONABIO y Conanp. 2010. Vacíos y omisiones en la conservación de la biodiversidad acuática epicontinental de México: cuerpos de agua, ríos y humedales. Escala: 1 : 1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.
- CONABIO, Conanp, TNC, Pronatura y FCF-UANL. 2007a. Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: espacios y especies. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-The Nature Conservancy-Programa México-Pronatura, A.C.-Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México
- CONABIO, Conanp, TNC y Pronatura. 2007b. Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-The Nature Conservancy, Programa México-Pronatura, A.C., México.
- Conafor. 2002. *Evaluación del Programa Nacional de Reforestación (Pronare 2002)*. Comisión Nacional Forestal-Semarnat, Puebla.
- Conafor. 2006. Acuerdo mediante el cual se expiden los costos de referencia para reforestación o restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales y la metodología para su estimación. *Diario Oficial de la Federación*, 12 de abril de 2006.
- Conafor. 2011. Acuerdo mediante el cual se expiden los costos de referencia para reforestación o restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales y la metodología para su estimación. *Diario Oficial de la Federación*, 25 de febrero de 2011.
- Conanp. 2010. *Programa de conservación de especies en riesgo (Procer)*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, en <http://procer.conanp.gob.mx/> (consultado el 27 de febrero de 2010).
- Conrad, C.C., y K.G. Hilchey. 2011. A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment* **176**:273-91.
- Cortina, S., y M. Zorrilla. 2009. Capacidades para la implementación de políticas públicas, en CONABIO-PNUD, *México: capacidades para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, México, pp. 117-151.
- Costanza, R., O. Pérez-Maqueo, M.L. Martínez, P. Sutton, S.J. Anderson y K. Mulder. 2008. The value of coastal wetlands for hurricane protection. *Ambio* **37**:241-248.
- Côté, I.M., J.A. Gill, T.A. Gardner y A.R. Watkinson. 2005. Measuring coral reef decline through meta-analyses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **360**:385-395.
- Coumou, D., y S. Rahmstorf. 2012. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change* **2**:491-496.
- Cracraft, J. 2002. The seven great questions of systematic biology: An essential foundation for conservation and the sustainable use of biodiversity. *Annals of the Missouri Botanical Garden* **89**:127-144.
- Cruickshank, G. 2010. Restauración en el lago de Texcoco, en J. Carabias, J. Sarukhán, J. de la Maza y C. Galindo (coords.). *Patrimonio natural de México. Cien casos de éxito*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Cuéllar, M. 2004. Fonatur: 40% del terreno entregado a Golf & Resorts, sin valor económico. *La Jornada*, 14 de diciembre de 2004, en <http://www.jornada.unam.mx/2004/12/14/007n1pol.php> (consultado en mayo de 2013).
- Cuervo-Robayo, A.P., O. Téllez-Valdés, M.A. Gómez-Albores, C.S. Venegas-Barrera, J. Manjarrez y E. Martínez-Meyer. 2014. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology* **34**:2427-2437.
- D'Agrosa, C., C.E. Lennert-Cody y O. Vidal. 2000. Vaquita bycatch in Mexico's artisanal gillnet fisheries: Driving a small population to extinction. *Conservation Biology* **14**:1110-1119.
- Danielsen, F., N.D. Burgess, A. Balmford, P.F. Donald, M. Funder *et al.* 2009. Local participation in natural resource monitoring: A characterization of approaches. *Conservation Biology* **23**:31-42.
- Díaz, S., D. Tilman, J. Fargione, F.S. Chapin III, R. Dirzo *et al.* 2005. Biodiversity regulation of ecosystem services, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, vol. 1. *Findings of the condition and trends working group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 297-329.
- Dirzo, R. y P.H. Raven. 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources* **28**:137-167.
- Dobson, A. 2005. Monitoring global rates of biodiversity

- change: Challenges that arise in meeting the CBD 2010 goals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **360**: 229-241.
- DOF. 2007. Decreto por el que se adiciona un artículo 60 ter; y se adiciona un segundo párrafo al artículo 99; todos ellos de la Ley General de Vida Silvestre. *Diario Oficial de la Federación*, 1 de febrero de 2007.
- Duarte, A., A. Panjabi y C. Aguirre. 2011. *Compartiendo sus agostaderos con las aves de pastizal*. Rocky Mountains Bird Observatory, Brighton.
- Ebach, M.C., A.G. Valdecasas y Q.D. Wheeler. 2011. Impediments to taxonomy and users of taxonomy: Accessibility and impact evaluation. *Cladistics* **27**: 1-8.
- eBird. 2013. eBird, en <<http://ebird.org/content/ebird>> (consultado en junio de 2013).
- Eloisa, H., y M.C. Navarro. 2005. La sistemática en México. *Elementos: Ciencia y Cultura* **12**: 13-19.
- Enciso, A. 2008. Los manglares se extinguirán en 30 años si no son protegidos, advierten científicos. *La Jornada*, 29 de enero de 2008, en <[www.jornada.unam.mx/2008/01/29/index.php?section=sociedad&article=040n1soc](http://www.jornada.unam.mx/2008/01/29/index.php?section=sociedad&article=040n1soc)> (consultado en mayo de 2013).
- Escobar, F., P. Koleff y M. Rös. 2009. Evaluación de capacidades para el conocimiento: el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad como un estudio de caso, en CONABIO-PNUD, *México: capacidades para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, México, pp. 23-49.
- EuMon. 2012. EU-wide monitoring methods and systems of surveillance for species and habitats of community interest, en <<http://eumon.ckff.si/index1.php>> (consultado en noviembre de 2012).
- Fischer, J., D.B. Lindenmayer y A.D. Manning. 2006. Biodiversity, ecosystem function, and resilience: Ten guiding principles for commodity production landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment* **4**: 80-86.
- García de León, F., L. González-García, J.M. Herrera-Castillo, K.O. Winemiller y A. Banda-Valdés. 2001. Ecology of the Alligator Gar, *Atractosteus spatula*, in the Vicente Guerrero Reservoir, Tamaulipas, México. *The Southwestern Naturalist* **46**: 151-157.
- Gebhardt, S., T. Wehrmann, M.A. Muñoz Ruiz, P. Díaz Maeda, J. Bishop *et al.* 2014. MAD-MEX: Automatic wall-to-wall land cover monitoring for the Mexican REDD-MRV program using all Landsat data. *Remote sensing* **6**: 3923-3943.
- GEO BON. 2014. Group on Earth Observations, en <<https://earthobservations.org/geobon.shtml>>.
- Gerrodette, T., y L. Rojas-Bracho. 2011. Estimating the success of protected areas for the vaquita, *Phocoena sinus*. *Marine Mammal Science* **27**: E101-E125.
- GISP. 2010. Annual Report 2010. Global Invasive Species Programme, Nairobi, en <[http://www.standardsfacility.org/Files/News/GISP\\_AnnualReport-2010.pdf](http://www.standardsfacility.org/Files/News/GISP_AnnualReport-2010.pdf)>.
- Global Cactus Assessment. 2013. Global Cactus Assessment, en <[http://www.bgci.org/index.php?option=com\\_news&id=0529&print=1](http://www.bgci.org/index.php?option=com_news&id=0529&print=1)>.
- Gómez, C. 2006. Semarnat interpone recurso para revertir fallo sobre manglares. *La Jornada*, 23 de octubre de 2006, en <[www.jornada.unam.mx/2006/10/23/index.php?section=sociedad&article=045n1soc](http://www.jornada.unam.mx/2006/10/23/index.php?section=sociedad&article=045n1soc)> (consultado en mayo de 2013).
- Gómez de Silva, H., y M.G. Pérez Villafana. 2013. Quinceavo informe aVerAves (febrero-abril 2013). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- González, M., R. Mendoza y C. Aguilera. 2008. Control reproductivo del catán (*Atractosteus spatula*). *Ciencia UANL* **4**: 352-365.
- Greenberg, M. 2000. Grassroots leadership, personality, and urban neighborhood environments: A case study in New Jersey. *Human Ecology Review* **7**: 21-29.
- Guston, D.H. 2001. Boundary organizations in environmental policy and science: An introduction. *Science, Technology & Human Values* **26**: 399-408.
- Guzmán-Aranda, J.C., J. Hoth y E. Blanco (eds.). 2011. *Plan de Acción para la Conservación y Uso Sustentable de los Pastizales del Desierto Chihuahuense en el Estado de Chihuahua 2011-2016*. Gobierno del Estado de Chihuahua, México.
- Guzmán-Aranda, J.C., J. Hoth y H. Berlanga (eds.). 2012. *Plan Maestro de la Alianza Regional para la Conservación de los Pastizales del Desierto Chihuahuense*. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal.
- Hassan, R., R. Scholes y N. Ash (eds.). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group*. Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington, D.C.
- Hendriks, I.E., y C.M. Duarte. 2008. Allocation of effort and imbalances in biodiversity research. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **360**: 15-20.
- Hernández-Casillas, J.M. 2007. Base de datos de colecciones de maíces nativos, teocintles y *Tripsacum* de México. Proyecto FY001-CONABIO, en <<http://www.conabio.gob.mx/institucion/cgi-bin/datos2.cgi?Letras=FY&Numero=1>>.
- Hernández, A., F.J. Fernández y A. Sáenz. 2010. *Monitoreo comunitario en áreas naturales protegidas: caso de estudio Parque Nacional Cabo Pulmo y Parque Nacional Bahía de Loreto*, en <[www.cabopulmovivo.org/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8&Itemid=115&lang=es](http://www.cabopulmovivo.org/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=115&lang=es)>.
- Herrick, J.E., y J. Sarukhán. 2007. A strategy for ecology in an era of globalization. *Frontiers in Ecology and the Environment* **5**: 172-181.

- Holck, M.H. 2008. Participatory forest monitoring: An assessment of the accuracy of simple cost-effective methods. *Biodiversity and Conservation* **17**:2023-2036.
- Hunter, D., y V. Heywood. 2011. *Crop Wild Relatives. A Manual of In Situ Conservation*. Bioversity International-Earthscan, Londres.
- INE, INIFAP y CONABIO (coords.). 2011. Contribución al conocimiento de los maíces nativos y sus parientes silvestres en México. Documento interno, en <[http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Mapa\\_1\\_Maices\\_CONABIO\\_2011\\_bajax.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Mapa_1_Maices_CONABIO_2011_bajax.pdf)>.
- INEGI. 2001. Conjunto de datos vectoriales de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, escala 1:250 000, Serie II continuo nacional. Dirección General de Geografía, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.
- INEGI. 2005. Conjunto de datos vectoriales de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, escala 1:250 000, Serie III continuo nacional. Dirección General de Geografía, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.
- INEGI. 2008. Conjunto de datos vectoriales de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, escala 1:250 000, Serie IV continuo nacional. Dirección General de Geografía, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes.
- IMT. 1996. Vías de comunicación. Escala 1:1. Instituto Mexicano del Transporte, México.
- IMT. 2001. Red de carreteras. Escala 1:1. Instituto Mexicano del Transporte, México.
- IMT. 2007. Red nacional de carreteras. Escala 1:1. Primera edición. Unidad de Sistemas de Información Geoespacial-Instituto Mexicano del Transporte, México.
- Jacobson, S.K., M.D. McDuff y M.C. Monroe. 2006. *Conservation, Education and Outreach Techniques*. Oxford University Press, Nueva York.
- James, A.N., K.J. Gaston y A. Balmford. 1999. Balancing the Earth's accounts. *Nature* **401**:323-324.
- Jaramillo-Legorreta, A.M. 2008. Estatus actual de una especie en peligro de extinción, la vaquita (*Phocoena sinus*): una aproximación poblacional con métodos acústicos y bayesianos. Tesis de doctorado, México, Facultad de Ciencias Marinas, UABC.
- Jaramillo-Legorreta, A.M., y L. Rojas-Bracho. 1999. A new abundance estimate for vaquitas: First step for recovery. *Marine Mammal Science* **15**:957-973.
- Kato-Yamakake, T., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos y R.A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. UNAM-UACM-Semarnat-CONABIO, México.
- Kolb, M. 2009. *Reporte técnico del modelo prototipo de impactos a la biodiversidad mexicana, MEXBIO*. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Kolb, M. 2013. Dinámica del uso del suelo y cambio climático en la planeación sistemática para la conservación: un caso de estudio en la cuenca Grijalva-Usumacinta. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Toulouse II-Le Mirail.
- Kolb, M., J.F. Mas y L. Galicia. 2013. Evaluating drivers of land-use change and transition potential models in a complex landscape in Southern Mexico. *International Journal of Geographical Information Science* **27**:1804-1827.
- Koleff, P., y T. Urquiza-Haas (coords.). 2011. *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso*. CONABIO-Conanp, México.
- Kremen, C., K.S. Ullman y R.W. Thorp. 2011. Evaluating the quality of citizen-scientist data on pollinator communities. *Conservation Biology* **25**:1523-1739.
- Laihonen, P., R. Kalliola y J. Salo. 2004. The biodiversity information clearing-house mechanism (CHM) as a global effort. *Environmental Science and Policy* **7**:99-108.
- Larsen, T.H., N.M. Williams y C. Kremen. 2005. Extinction order and altered community structure rapidly disrupt ecosystem functioning. *Ecology Letters* **8**:538-547.
- Leadley, P., H.M. Pereira, R. Alkemade, J.F. Fernández-Manjarrés, V. Proença et al. 2010. *Biodiversity Scenarios: Projections of 21st Century Change in Biodiversity and Associated Ecosystem Services*. Serie de documentos técnicos núm. 50. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.
- Lee, H. 2011. *Climate Change Biology*. Elsevier, Beijing.
- Lepczyk, C.A. 2005. Integrating published data and citizen science to describe bird diversity across a landscape. *Journal of Applied Ecology* **42**:672-677.
- Levandoski, G., A. Panjabi y R. Sparks. 2008. *Wintering bird inventory and monitoring in priority conservation areas in Chihuahuan Desert Grasslands in Mexico: 2008 results*. Rocky Mountain Bird Observatory, Brighton.
- List, R., O. R.W. Pergams, J. Pacheco, J. Cruzado y G. Ceballos. 2010. Genetic divergence of *Microtus pennsylvanicus chihuahuensis* and conservation implications of marginal population extinctions. *Journal of Mammalogy* **91**:1093-1101.
- Loarie, S.R., P.B. Duffy, H. Hamilton, G.P. Asner, C.B. Field et al. 2009. The velocity of climate change. *Nature* **462**:24-31.
- Lughadha, E.N., J. Baillie, W. Barthlott, N.A. Brummitt, M.R. Cheek et al. 2005. Measuring the fate of plant diversity: Towards a foundation for future monitoring and opportunities for urgent action. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **360**:359-372.
- MA. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington, D.C.
- Mace, G., H. Masundire, J.E.M. Baillie, T. Ricketts, T. Brooks et al. 2005. Biodiversity, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and Human Well-being: Current State*

- and Trends*, vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 77-122.
- Macías-Duarte, A., A.O. Panjabi, D. Pool, E. Youngberg y G. Levandoski. 2011. *Wintering Grassland Bird Density in Chihuahuan Desert Grassland Priority Conservation Areas, 2007-2011*. Rocky Mountain Bird Observatory, Brighton.
- Martínez Meyer, E., J.E. Sosa Escalante y F. Álvarez. 2014. El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad* **85**: S1-S9.
- Mas, J., A. Velázquez, J. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcantara *et al.* 2004. Assessing land use/cover changes: A nationwide multidecadate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **5**: 249-261.
- McCallum, M.L. 2007. Amphibian decline or extinction? Current declines dwarf background extinction rate. *Journal of Herpetology*, **41**: 483-491.
- McKinney, M.L., y J.L. Lockwood. 1999. Biotic homogenization: A few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology and Evolution* **14**: 450-453.
- McNie, E.C. 2007. Reconciling the supply of scientific information with user demands: An analysis of the problem and review of the literature. *Environmental Science and Policy* **10**: 17-38.
- Mendoza, R., y C. Aguilera. 2000. Cultivo y pesquería de catán, en anexo del Acuerdo por el que se aprueba la Carta Nacional Pesquera, *Diario Oficial de la Federación*, 28 de agosto de 2000.
- Mendoza, R., y C. Aguilera. 2001. Bases fisiológicas del desarrollo de larvas de *Atractosteus spatula* y perspectivas para su cultivo. *Ciencia UANL* **20**: 161-168.
- Mendoza, R., C. Aguilera, G. Rodríguez, M. González y R. Castro. 2002a. Morphophysiological studies on alligator gar (*Atractosteus spatula*) larval development as a basis for their culture and repopulation of their natural habitats. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **12**: 133-142.
- Mendoza, R., C. Aguilera, J. Montemayor, A. Revol y J. Holt. 2002b. Studies on the physiology of *Atractosteus spatula* larval development and its applications to early weaning onto artificial diets, en *Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*, Cancún.
- Mendoza, R., C. Aguilera y A.M. Ferrara. 2008a. Gar biology and culture: Status and prospects. *Aquaculture Research* **39**: 748-763.
- Mendoza, R., C. Aguilera, L. Carreón, J. Montemayor y M. González. 2008b. Weaning of alligator gar (*Atractosteus spatula*) larvae to artificial diets. *Aquaculture Nutrition* **14**: 223-231.
- Mendoza, R.E., C.J. Aguilera y J. Montemayor. 2010. *Biología, ecología y avances en el cultivo del catán* (*Atractosteus spatula*). Monterrey, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Mex-LTER. 2013. Red Mex-LTER, en <http://www.mexlter.org.mx/>.
- Mikkelsen, P.M., y J. Cracraft. 2001. Marine biodiversity and the need for systematic inventories. *Bulletin of Marine Science* **69**: 525-534.
- Moguel, P., y V.M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* **13**: 11-21.
- MVZ. 2014. The Grinnell Resurvey Project, en <http://mvz.berkeley.edu/Grinnell/>.
- NaturaLista. 2016. NaturaLista, en <http://conabio.inaturalist.org/> (consultado en mayo de 2016).
- Niemeijer, D., y R.A. De Groot. 2008. Conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological Indicators* **8**: 14-25.
- Oberhauser, K.S. 2006. El Programa Norteamericano de Monitoreo de la Mariposa Monarca, en I. Pisanty y M. Caso (comps.). *Especies, espacios y riesgos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología-Comisión para la Cooperación Ambiental- Unidos para la Conservación, México, pp. 33-57.
- Oberhauser, K.S., y M. Prysby. 2008. Citizen science: Creating an army for conservation. *American Entomologist* **54**: 97-99.
- OBIS. 2015. Ocean Biogeographic Information System, en [www.iobis.org/](http://www.iobis.org/) (consultado en marzo de 2015).
- OCDE. 2008. *OECD Environmental Outlook to 2030*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, París.
- Ortega-Álvarez, R., e I. MacGregor-Fors. 2009. Living in the big city: Effects of urban land-use on bird community structure, diversity, and composition. *Landscape and Urban Planning* **90**: 189-195.
- Overdeest, C., C.H. Orr y K. Strpenuck. 2004. Volunteer stream monitoring and local participation in natural resource issues. *Human Ecology Review* **11**: 177-185.
- Pacheco, J., G. Ceballos y R. List. 1999-2000. Los mamíferos de la región de Janos, Casas Grandes, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Mastozoología* **4**: 71-85.
- Palacios, E., y L. Alfaro. 2005. *Seabird Research and Monitoring Needs in Northwestern Mexico*. Technical Report PSW-GTR-191. U.S. Department of Agriculture, Forest Service General, pp. 151-156.
- Panjabi, A., I. Ruvalcaba-Ortega, S.W. Gillian y T. VerCauteren. 2008. *Guía de bolsillo para las aves de pastizal*. Brighton, Rocky Mountain Bird Observatory.
- Panjabi, A., E. Youngberg y G. Levandoski. 2010. *Wintering Grassland Bird Density in Chihuahuan Desert Grassland Priority Conservation Areas, 2007-2010*. Technical Report. Brighton, Rocky Mountain Bird Observatory.
- Pavia, E.G., F. Graef y J. Reyes. 2009. Annual and seasonal surface air temperature trends in Mexico. *International Journal of Climatology* **29**: 1324-1329.

- Pereira, H.M., y D.H. Cooper. 2006. Towards the global monitoring of biodiversity change. *Trends in Ecology and Evolution* **21**: 123-129.
- Pereira, H.M., S. Ferrier, M. Walters, G.N. Geller, R.H.G. Jongman *et al.* 2013. Essential biodiversity variables. *Science* **339**: 277-278.
- Peters, C.M., S.E. Purata, M. Chibnik, B.J. Brosi, A.M. López y M. Ambrosio. 2003. The life and times of *Bursera glabrifolia* (H.B.K) Engl. in Mexico: A parable for ethno-botany. *Economic Botany* **57**: 431-441.
- Pimm, S.L., G.J. Russell, J.L. Gittleman y T.M. Brooks. 1995. The future of biodiversity. *Science* **269**: 347-350.
- PNUMA. 2002. *Global Environmental Outlook 3*. Past present and future perspectives. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.
- PNUMA. 2010. *Perspectivas del medio ambiente: América Latina y el Caribe*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Panamá.
- Pool, D.B., A. Macías-Duarte, A.O. Panjabi, G. Levandoski y E. Youngberg. 2012. *Chihuahuan Desert Grassland Bird Conservation Plan, Version 1.0*. Brighton, Rocky Mountain Bird Observatory.
- Pullin, A.S., T.M. Knight, D.A. Stone y K. Charman. 2004. Do conservation managers use scientific evidence to support their decision-making? *Biological Conservation* **119**: 245-252.
- Pülzl, H., y E. Rametsteiner. 2009. Indicator development as "boundary spanning" between scientists and policy-makers. *Science and Public Policy* **36**: 743-752.
- Purvis, A., y A. Hector. 2000. Getting the measure of biodiversity. *Nature* **405**: 212-219.
- Ramírez, A.F., O. Trujillo, E.H. Zentmyer, R. Martínez, I.M. Sheseña *et al.* 2010. Identificación y tipificación de áreas potenciales para la restauración de manglares: el caso de los humedales de la cuenca del río Papaloapan, Veracruz, México, en <<http://www1.inecol.edu.mx/repara/download/ProyectoRestauracionDeManglarPapaloapan.pdf>>.
- Ramírez-Macías, D., M. Meekan, R. de la Parra-Venegas, F. Remolina-Suárez, M. Trigo-Mendoza y R. Vázquez-Juárez. 2012. Patterns in the composition and abundance of whale sharks (*Rhincodon typus*) in coastal waters near Holbox Island, Mexico. *Journal of Fish Biology* **80**: 1401-1416.
- Reforma. 2008. Avalan ecologistas retiro de iniciativa. *Reforma*, 24 de febrero de 2008.
- Rendón-Salinas, E., y G. Tavera-Alonso. 2013. *Monitoreo de la superficie forestal ocupada por las colonias de hibernación de la mariposa monarca en diciembre de 2012*. Alianza WWF-Telcel-Conanp, México.
- Revista Mexicana de Biodiversidad. 2014. Suplemento: vol. 85, *Biodiversidad de México*.
- Rodríguez Aldabe, Y., y A. Rodríguez Aldabe. 2007. Modelo de servicios de información y conocimiento en el marco de la gestión pública para el desarrollo. Semarnat-CONABIO-CBMM, México.
- Rodríguez-Zúñiga, M.T., C. Troche-Souza, A.D. Vázquez-Lule, J.D. Márquez-Mendoza, B. Vázquez-Balderas *et al.* 2013. Manglares de México: extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Rojas-Bracho, L., y B. Taylor. 1999. Risk factors affecting the vaquita (*Phocoena sinus*). *Marine Mammal Science* **15**: 974-989.
- Rojas-Bracho, L., R.R. Reeves y A. Jaramillo-Legorreta. 2006. Conservation of the vaquita *Phocoena sinus*. *Mammal Review* **36**: 179-216.
- Rojas-Bracho, L., y A. Jaramillo-Legorreta. 2009. Vaquita *Phocoena sinus*, en W.F. Perrin, B. Würsig y J.G.M. Thewissen (eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals*. Elsevier, Filadelfia, pp. 1196-1200.
- Rojas-Bracho, L., A. Jaramillo-Legorreta, G. Cárdenas, E. Nieto, P. Ladrón de Guevara *et al.* 2010. Assessing trends in abundance for vaquita using acoustic monitoring: Within refuge plan and outside refuge research needs. U.S. Department of Commerce, *NOAA Technical Memorandum*, NOAA-TM-NMFS-SWFSC-459.
- Rosas, M. 1976. *Peces dulceacuícolas que se explotan en México y datos sobre su biología*. Instituto Nacional de Pesca-Subsecretaría de Pesca, México.
- Rosenfeld, J.S. 2002. Functional redundancy in ecology and conservation. *Oikos* **98**: 156-162.
- Ruiz-Luna, A. 2006. Sobre los inventarios de manglar en México. *Milenio Diario*, 17 de enero de 2006, p. 38.
- Sáenz-Romero, C., A.E. Snively y R. Linding-Cisneros. 2003. Conservation and restoration of pine forest genetic resources in Mexico. *Silvae Genetica* **52**: 233-237.
- Sagarpa. 2006. Carta Nacional Pesquera 2000. *Diario Oficial de la Federación*, 25 de agosto de 2006.
- Sánchez-González, J.J. 2011. Diversidad de maíz y teocintle. Informe del Proyecto Global de Maíces. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Sánchez-Herrera, O., G. López-Segurajáuregui, A. García-Naranjo y H. Benítez-Díaz. 2011. Programa de Monitoreo del Cocodrilo de Pantano (*Crocodylus moreletii*), México-Belice-Guatemala. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sarti, L. 2004. *Situación actual de la tortuga laúd (Dermochelys coriácea) en el Pacífico mexicano y medidas para su recuperación y conservación*. Semarnat-wwf, México.
- Sarukhán, J. 2007. Restauración ecológica en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, suplemento, núm. 80.
- Sarukhán, J. 2010. Inteligencia para la toma de decisiones sobre el capital natural de México. Ponencia presentada durante el primer Encuentro Nacional sobre Estrategias

- de Biodiversidad, 25 de agosto de 2010, Ajijic, Jalisco, en [www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/Ajijic2010/Toma\\_Decisiones\\_Sarukhan.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/Ajijic2010/Toma_Decisiones_Sarukhan.pdf).
- Sarukhán, J., et al. 2009. *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Sarukhán, J., et al. 2012. *Capital natural de México: acciones estratégicas para su valoración, preservación y recuperación*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- SCBD. 2002. *Global Strategy for Plant Conservation*. The Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.
- SCBD. 2006. *Global Biodiversity Outlook 2*. The Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.
- Schnoor, J.L. 2007. Citizen science. *Environmental Science and Technology* **41**:5923.
- Scholes, R.J., y R. Biggs. 2005. A biodiversity intactness index. *Nature* **434**:45-49.
- Sekercioglu, C., G. Daily y P. Ehrlich. 2004. Ecosystem consequences of bird declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **101**:18042-18047.
- Semarnat. 2003. Norma Oficial Mexicana, NOM-022-SEMARNAT-2003, que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar. *Diario Oficial de la Federación*, 10 de abril de 2003.
- Semarnat. 2008. Programa de Acción para la Conservación de la Especie (PACE): vaquita (*Phocoena sinus*). Estrategia integral para el manejo sustentable de los recursos marinos y costeros en el Alto Golfo de California, en [http://www.conanp.gob.mx/pdf\\_especies/PACEvaquita.pdf](http://www.conanp.gob.mx/pdf_especies/PACEvaquita.pdf).
- Semarnat. 2010. Norma Oficial Mexicana, NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, 30 de diciembre de 2010.
- Semarnat. 2014. Acuerdo por el que se da a conocer la lista de especies y poblaciones prioritarias para la conservación. *Diario Oficial de la Federación*. 5 de marzo de 2014.
- Sernapam. 2011. Tabasco en el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM), en <http://sernapam.tabasco.gob.mx/CorredorBiologico.php> (consultado en marzo de 2011).
- Silvertown, J. 2009. A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology and Evolution* **24**:467-471.
- SIMEC. 2010. *Evolución del sistema de información, monitoreo y evaluación para la conservación*, México, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Sinervo, B., F. Méndez de la Cruz, D. Miles, B. Heulin, E. Bastiaans et al. 2010. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science* **328**:894-899.
- Snow, A.A., D.A. Andow, E. Gepts, E.M. Hallerman, A. Power et al. 2005. Genetically engineered organisms and the environment: Current status and recommendations. *Ecological Applications* **15**:377-404.
- Soberón, J. 2004. Translating life's diversity: Can scientist and policymaker learn to communicate better? *Environment* **46**:91-108.
- Soberón, J., y A.T. Peterson. 2009. Monitoring biodiversity loss with primary species-occurrence data: Toward national-level indicators for the 2010 target of the Convention on Biological Diversity. *Ambio* **38**:29-34.
- Soberón, J., y J. Sarukhán. 2009. A new mechanism for science-policy transfer and biodiversity governance? *Environmental Conservation* **36**:265-267.
- Stocker, T.F., D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.). 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Cambridge University Press.
- Storch, D., P.A. Marquet y J.H. Brown (eds.). 2007. *Scaling biodiversity*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Thogmartin, W.E., M.G. Knutson y J.R. Sauer. 2006. Predicting regional abundance of rare grassland birds with a hierarchical spatial count model. *The Cooper Ornithological Society* **108**:25-46.
- Tobón, W., T. Urquiza-Haas, G. Ramos-Fernández, E. Calixto-Pérez, J. Alarcón et al. 2012. *Prioridades para la conservación de los primates en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Asociación Mexicana de Primatología, A.C.-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.
- Toledo, V.M. 2003. *Ecología, espiritualidad y conocimiento. De la sociedad del riesgo a la sociedad sustentable*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-Universidad Iberoamericana, México.
- Toledo, V.M., A.I. Batis, R. Becerra, E. Martínez y C.H. Ramos. 1995. La selva útil: etnobotánica cuantitativa de los grupos indígenas del trópico húmedo de México. *Interciencia* **20**:177-187.
- Trumbull, D., R. Bonney, D. Bascom y A. Cabral. 2000. Thinking scientifically during participation in a citizen-science project. *Science Education* **84**:265-275.
- Turner, D.P., S.V. Ollinger y J.S. Kimball. 2004. Integrating remote sensing and ecosystem process models for landscape- to regional-scale analysis of the carbon cycle. *BioScience* **54**:573-584.
- Turnhout, E., M. Hisschemöller y H. Eijsackers. 2007. Ecological indicators: Between the two fires of science and policy. *Ecological Indicators* **7**:215-228.

- UICN. 2010. *Lista Roja de la UICN*, en <http://www.iucnredlist.org/> (consultado en diciembre de 2010).
- Urquiza-Haas, T., C.A. Peres y P.M. Dolman. 2009. Regional scale effects of human density and forest disturbance on large-bodied vertebrates throughout the Yucatán Peninsula, Mexico. *Biological Conservation* **142**: 134-148.
- Velázquez, A., J.F. Mas, G. Bocco y J.L. Palacio-Prieto. 2010. Mapping land cover changes in Mexico, 1976-2000 and applications for guiding environmental management policy. *Singapore Journal of Tropical Geography* **31**: 152-162.
- Vidal, O. 1995. Population biology and incidental mortality of the vaquita, *Phocoena sinus*. *Reports of the International Whaling Commission Special Issue* **16**: 247-272.
- Walker, B. 1995. Conserving biological diversity through ecosystem resilience. *Conservation Biology* **9**: 747-752.
- Wilkes, G. 2007. Urgent notice to all maize researchers: Disappearance and extinction of the last wild teosinte population is more than half completed. A modest proposal for teosinte evolution and conservation *in situ*: The Balsas, Guerrero, Mexico. *Maydica* **52**: 49-58.
- Wilson, E.O. 2004. Taxonomy as a fundamental discipline. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **359**: 739.
- Woodin, M.C., M.K. Skoruppa, B.D. Pearce, A.J. Ruddy y G.C. Hickman. 2010. *Grassland birds wintering at U.S. Navy facilities in southern Texas*, Corpus Christi, Texas.
- WTO. 2002. *The U.S. ecotourism market*. Special Report. World Tourism Organization, Madrid.