



Puma, Falta pie de foto.

Foto: Falta credito de la fotografía

y por conservación de la biodiversidad, que beneficiará hasta 2008 a más de 50 propietarios de 17 mil has ubicadas en áreas de recarga hidrológica y biodiversidad prioritarias. En conjunto, han recibido alrededor de 418 mil dólares por año, con lo que se les compensa por los servicios ambientales que prestan sus bosques, al tiempo que se les compromete para su conservación. Esto implicó una ardua labor del personal de la Dirección y del GESG, en la que hubo concertación de los propietarios de bosques y selvas las superficies a ser beneficiadas, georreferenciación y evaluación en campo de cada uno de los predios y su cobertura forestal, elaboración de expedientes y revisión de documentos de propiedad. Sin estas capacidades locales de interlocución y operación, este programa no se hubiera consolidado en la zona.

A partir de 2005, se está aplicando un programa de renta por conservación de la biodiversidad a propietarios de 2400 has de sitios escogidos por su valor biológico y capacidad de prestación de servicios ambientales; los recursos provinieron del proyecto GEF Conservación de la Biodiversidad en la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda, bajo el concepto de "renta para la conservación". A cambio, los propietarios beneficiados se comprometen a suprimir actividades productivas, cacería y captura

de especies, con el propósito de eliminar las amenazas para la diversidad. En 2006 se dio otro paso en este sentido y el Grupo Ecológico Sierra Gorda inició también la aplicación de un programa de arrendamiento a propietarios de 3 mil has de bosques ubicadas en cuencas hidrológicas prioritarias, con recursos de la Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P., que se ha convertido, sin lugar a dudas, en un socio importante del proyecto. Además con su apoyo se está trabajando en la regeneración de 48 microcuencas prioritarias con las comunidades locales; se realizan obras para propiciar la recarga y retención de suelos, lo que ha significado una amplia derrama económica para los participantes, contratados temporalmente para ejecutar las obras.

Estas líneas de acción constituyen una opción real para el combate a la pobreza, conservación de la biodiversidad y la prestación de servicios ambientales de los que dependemos todos, en un país que sufre una grave carencia de agua.

*Grupo Ecológico Sierra GordaGESG
pedraza_roberto@yahoo.com

VÍCTOR SÁNCHEZ-CORDERO¹, PATRICIA ILLOLDI¹, MIGUEL LINAJE¹,
TREVON FULLER² Y SAHOTRA SARKAR²

POR QUÉ HAY UN COSTO EN POSPONER LA CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA EN MÉXICO

En México, la transformación de hábitat y tipos de vegetación naturales en sistemas de cultivo o asentamientos humanos impone grandes retos para la conservación de su enorme diversidad biológica. La elevada tasa de deforestación, relacionada con el acelerado cambio de uso de suelo, impacta negativamente la permanencia de la biodiversidad de nuestro país. Ante este escenario, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), junto con otras instancias federales, estatales y municipales, están realizando una tarea muy importante para enfrentar la amenaza de la deforestación. No obstante, aún falta mucho por hacer. Por ejemplo, debe considerarse la necesidad de cuantificar la representatividad de la diversidad biológica dentro de las áreas naturales protegidas (ANP), para determinar qué especies están incluidas y cuáles no, y establecer qué áreas adicionales se requieren para incluir aquellos grupos representados deficientemente dentro de las ANP. En este sentido, existen algunos esfuerzos enfocados en analizar la representatividad de ciertos grupos biológicos, pero aún se requieren más estudios que involucren un mayor número de grupos biológicos.

Un segundo reto es la necesidad de elaborar propuestas de interconexión entre las áreas protegidas, a través de corredores que aún con-

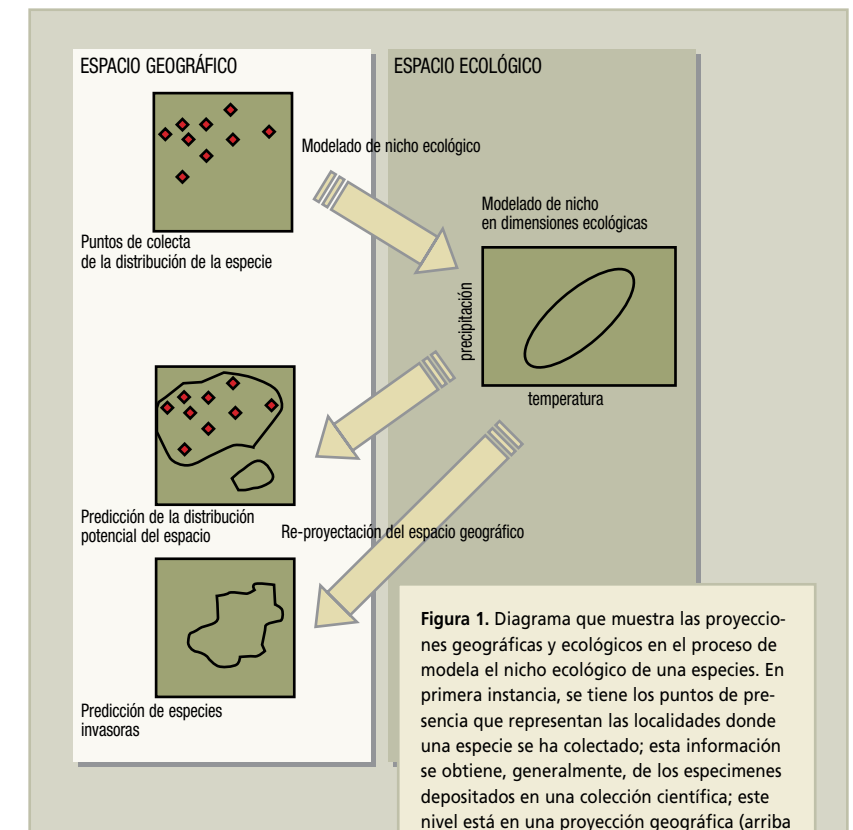


Figura 1. Diagrama que muestra las proyecciones geográficas y ecológicas en el proceso de modelar el nicho ecológico de una especie. En primera instancia, se tienen los puntos de presencia que representan las localidades donde una especie se ha colectado; esta información se obtiene, generalmente, de los especímenes depositados en una colección científica; este nivel está en una proyección geográfica (arriba a la izquierda). En seguida, estos puntos de colecta se asocian a variables ambientales, como precipitación y temperatura en este caso, proyectándose a un espacio ecológico (panel arriba a la derecha). El área gris oscura representa la asociación de temperatura y precipitación con las localidades de colecta. El área ovalada negra se re-proyecta, a su vez, a un espacio geográfico, indicando las áreas geográficas que contienen dicha asociación de temperatura y precipitación, en el ejemplo ilustrado (paneles abajo a la izquierda). El resultado es una predicción de la distribución potencial de la especie, en donde se aprecia áreas nuevas donde se predice la presencia de la especie. Para mayores detalles, consultar referencia en la literatura citada.

tengan hábitat natural remanente o, en su caso, vegetación secundaria. Esto evitaría el aislamiento de las ANP como consecuencia de la deforestación, es decir, mantendría una conectividad biológica que permita garantizar un flujo de especies y procesos ecológicos entre las áreas protegidas. El escenario alternativo es la conservación de la biodiversidad restringida a un sistema de ANP aisladas, rodeadas por áreas transformadas en siste-



mas de cultivo y asentamientos humanos, lo que causaría daños irreparables al flujo de especies de flora y fauna, así como de procesos ecológicos. Se ha observado que, en áreas silvestres aisladas por sistemas de cultivo y asentamientos humanos, se alteran algunos procesos ecológicos como las interacciones planta-animal.

Un tercer reto, estrechamente vinculado con los dos anteriores, es la necesidad de identificar áreas prioritarias de conservación por su contenido biológico. Existen varios enfoques para determinar dichas áreas considerando el contenido de biodiversidad de una región, un país, un conjunto de países o, incluso, de continentes enteros. Tradicionalmente, se reconocían como áreas prioritarias las que presentan la mayor riqueza de especies, es decir, el mayor número de especies en una región determinada. Sin embargo, este enfoque puede implicar que algunas especies con características particulares, como tener un área de distribución restringida, no se incluyan en el conjunto considerado en la región con mayor riqueza de especies, con lo que se corre el riesgo de excluirlas en la selección de áreas. Por otro lado, el uso de la riqueza como criterio puede impulsar la selección de áreas muy extensas, lo que comprometería la viabilidad de los programas de conservación debido al alto costo que representa proteger áreas de grandes extensiones.

Una alternativa es la selección de áreas prioritarias de conservación con base en el criterio de

rareza de especies y complementariedad. Con estos criterios, en primera instancia, se incluyen las especies raras, equivalentes a las de distribución más restringida (las que también son llamadas microendémicas); a continuación, se elige la siguiente especie menos rara y, así, sucesivamente. De esta manera, los primeros sitios seleccionados serían aquéllos donde se ubican las especies de distribución restringida, repitiendo el procedimiento hasta cubrir todas las especies que se pretendan conservar. Una vez escogida una especie, se excluye del siguiente proceso de selección. Esta restricción permite incrementar la complementariedad de los sitios elegidos como prioritarios para conservación; es decir, tienen preferencia las especies no escogidas, siguiendo una secuencia desde las especies con distribución más restringida hasta las de distribución más amplia.

Básicamente, el reto de la selección de áreas prioritarias de conservación es un problema de optimización. Por un lado, se pretende incluir el máximo número de especies representadas en las áreas, pero al mismo tiempo, considerar el área mínima necesaria para conservar esa diversidad biológica. Así, las áreas prioritarias serían las más viables en términos económicos, de recursos humanos y de infraestructura, para establecer programas de conservación.

Los modelos de nicho ecológico

Uno de los mayores retos que enfrentan los biólogos que estudian

grupos faunísticos y florísticos es determinar la distribución geográfica de una especie o de un grupo de especies. Esta información, fundamental para establecer prioridades de conservación, se encuentra en las colecciones científicas y los inventarios biológicos—el acervo de información primaria más relevante en este sentido—, pues albergan los especímenes recolectados y su información asociada, como la localidad y la fecha de colecta. Con base en la información de las colecciones científicas, se han empleado diversos métodos para modelar la distribución geográfica de especies, desde la simple delimitación del contorno del área de distribución, a partir de los puntos de colecta registrados en las colecciones, hasta el uso de complejos métodos estadísticos. La principal utilidad del método de modelado debe ser su poder para predecir la distribución potencial de una especie, es decir, su capacidad para incluir áreas en las que existe una alta probabilidad de encontrar individuos de la especie en cuestión.

El modelo de distribución ideal aprovecharía la extensa información contenida en las colecciones científicas y resolvería las desventajas que presentan otros métodos estadísticos. En esta dirección, una línea de investigación promisoría son los modelos de algoritmos genéticos de cómputo, que representan una forma de inteligencia artificial o de aprendizaje. Recientemente, se ha multiplicado el uso de estos algoritmos en el modelado de la distribución de especies, lo que brinda la opción de emplear

Texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado

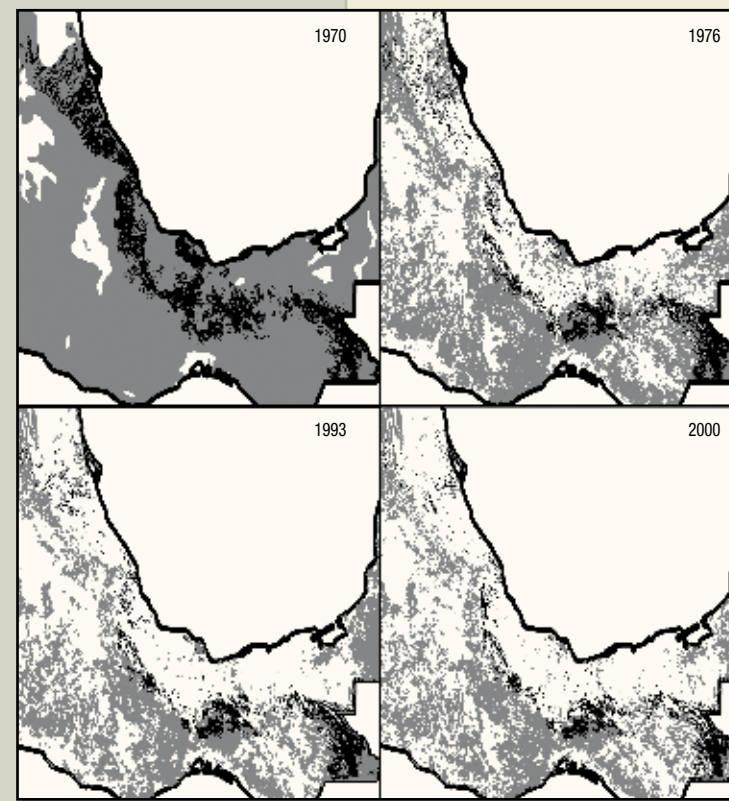
la información contenida en las colecciones científicas, con la ventaja de un manejo más adecuado de los datos disponibles. En particular, destaca el algoritmo genético de cómputo GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction), cuyo uso ha demostrado su efectividad predictiva en grupos de fauna en México, particularmente en el de los mamíferos.

Con información sobre las localidades de recolecta, con referencia geográfica (longitud y latitud), mapas de variables ambientales (generalmente obtenidos de datos de sensores remotos y modelos climáticos) y sistemas de información geográfica, GARP funciona de manera iterativa, en un proceso que incluye la selección de las reglas o condicionantes ambientales en las que se ha encontrado la especie, la evaluación y prueba de dichas reglas, y su eventual incorporación o rechazo al modelo. Estas condicionantes ambientales representan la relación de las localidades de colecta con las variables ambientales. Los detalles del método GARP, basado en un concepto de nicho geográfico o de Grinnell (distinguido biólogo norteamericano de principios del siglo xx), se pueden consultar en el sitio de Biodiversity Species Workshop (www.lifemap.org/desktopgarp).

El espacio geográfico en el cual la especie es capaz de mantener poblaciones reproductivas in situ, sin depender de una inmigración recurrente de poblaciones cercanas, es la base sobre la que se construye este método, enfocado en modelar el nicho ecológico;

para una especie, la proyección del modelo en un espacio geográfico resulta en su distribución potencial. En esa proyección pueden observarse regiones donde se predice la presencia de la especie, aún cuando ésta no se ha documentado en esa área (Fig. 1), lo que constituye una enorme ventaja frente a los sesgos de colecta de las colecciones científicas. La hipótesis de distribución potencial puede servir como plataforma de información básica para diferentes disciplinas, como biogeografía, ecología y conservación, entre otras.

Figura 2. El efecto de la deforestación sobre la distribución de especies. Se ilustra el impacto de la deforestación (negro) en la distribución del agouti (*Dasyprocta mexicana*), un roedor tropical carismático y económicamente importante, en los cuatro escenarios de 1970, 1976, 1993 y 2000, años en los que existe información sobre uso de suelo y vegetación en el país. El superficie gris indica áreas que aún conservan vegetación primaria y secundaria, de acuerdo al Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI, www.inegi.gob.mx). En este caso, la serie de modelos muestran una reducción del 33.5% de la distribución del agouti de 1970 al 2000.



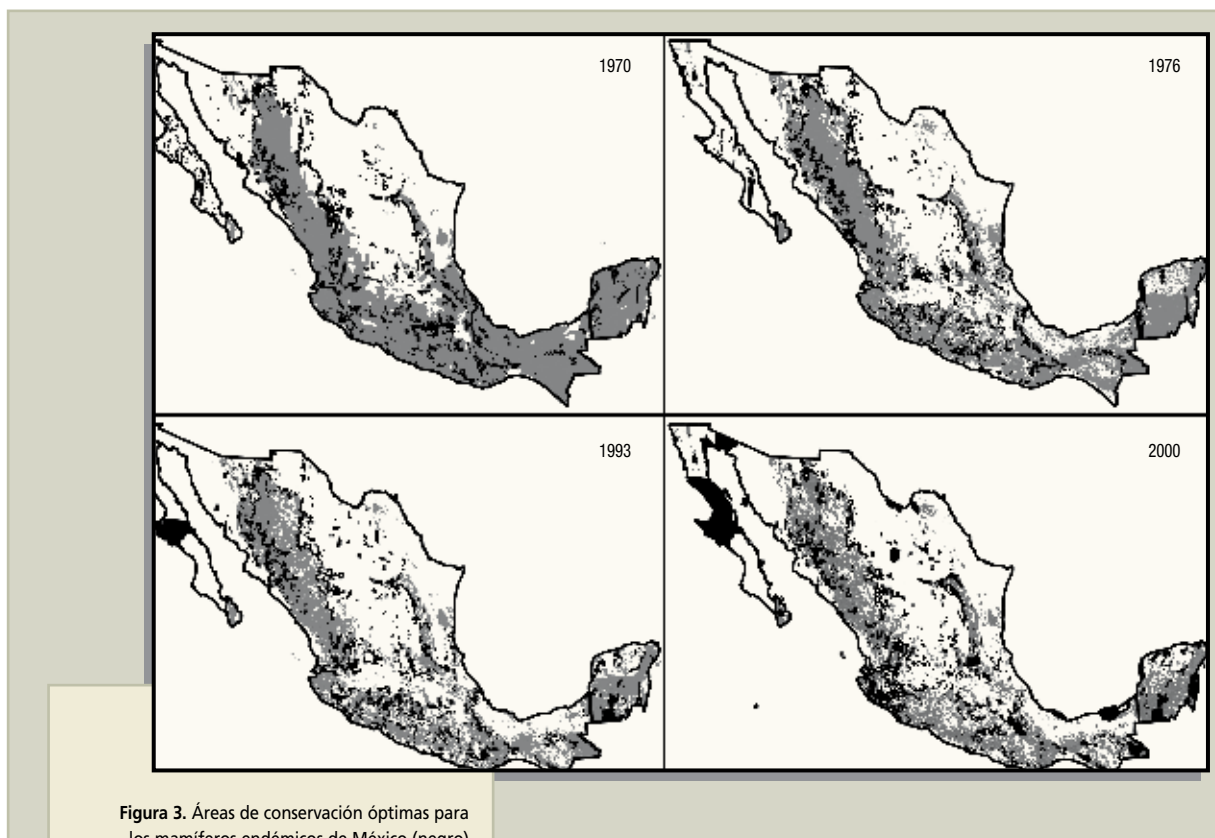


Figura 3. Áreas de conservación óptimas para los mamíferos endémicos de México (negro) que resultaron al considerar el 10% de la distribución de cada una de las 86 especies incluidas en el estudio. Las áreas en gris incluyen la vegetación primaria y secundaria, de acuerdo a los mapas de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI. El algoritmo de optimización en la selección de áreas prioritarias de conservación se inició incluyendo a las áreas naturales protegidas decretadas en México por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP; www.conanp.gob.mx). El algoritmo de optimización resuelve la máxima inclusión de especies, considerando el área mínima para su conservación (ver texto para mayores detalles).

En el último caso, el modelo del nicho ecológico proyectado como la distribución potencial de las especies es una herramienta muy útil para establecer estrategias de conservación. Por ejemplo, proporciona un marco teórico para determinar el impacto de la deforestación sobre la distribución de especies, ya que pueden proponerse hipótesis de distribución actual, considerando el impacto potencial de la deforestación. La hipótesis se basa en el supuesto de que la conversión (en escala gruesa) del hábitat natural en sistemas de cultivo y asentamientos humanos lleva a condiciones ecológicas no viables para la especie. Este supuesto se sustenta en la hipótesis de que es poco probable la adaptación rápida de una especie a ambientes recién transformados por actividades humanas, sin una inmigración

recurrente de poblaciones localizadas en hábitat naturales adyacentes. Más aún, desde el punto de vista de conservación, esta propuesta metodológica satisface el principio precautorio: aun cuando el modelo sea erróneo, en términos de lo que constituye un hábitat viable para las especies no resulta en un detrimento de la conservación de la biodiversidad.

Además, las predicciones de las distribuciones actuales pueden validarse en campo con muestreos faunísticos, para probar la presencia o ausencia de la especie tanto en hábitat naturales como en transformados. De hecho, una validación preliminar de estos modelos confirmó las predicciones de presencia de especies endémicas –distribuidas exclusivamente en México– de mamíferos en hábitat naturales en Oaxaca.

Texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado, texto simulado

La selección de áreas prioritarias de conservación

Un tema emergente en la biología de conservación es la selección de áreas prioritarias de conservación que contengan indicadores adecuados de la biodiversidad de una región o de un país. Históricamente, las áreas prioritarias de conservación involucraron áreas seleccionadas con criterios como el valor escénico del paisaje o la mera disponibilidad del terreno, lo que se ha denominado preservación ad hoc. Sin embargo, ante la amenaza de pérdida de biodiversidad por deforestación, resulta indispensable identificar, con métodos cuantitativos, las áreas prioritarias de conservación que incluyan una mejor representación de la biodiversidad. Para este propósito, se ha desarrollado un marco teórico denominado “planeación sistemática de la conservación”, que consiste en la selección de indicadores de la biodiversidad (especies particulares, tipos de vegetación o tipos de ecosistemas, entre otros), cuya distribución geográfica coincida con una alta diversidad biológica. Sin embargo, frecuentemente se seleccionan especies con distribuciones bien conocidas o, por falta de información disponible, se asume que variables como tipos de suelo, precipitación y temperatura promedio anuales, pueden ser indicadores adecuados de la biodiversidad.

Ante esto, el uso de modelos de nicho ecológico proyectados como la distribución actual de especies permite incluir un mayor número de especies como indicadores de la

biodiversidad de una región o de un país, ofreciendo un mejor insumo para seleccionar áreas prioritarias de conservación.

El costo de posponer la conservación

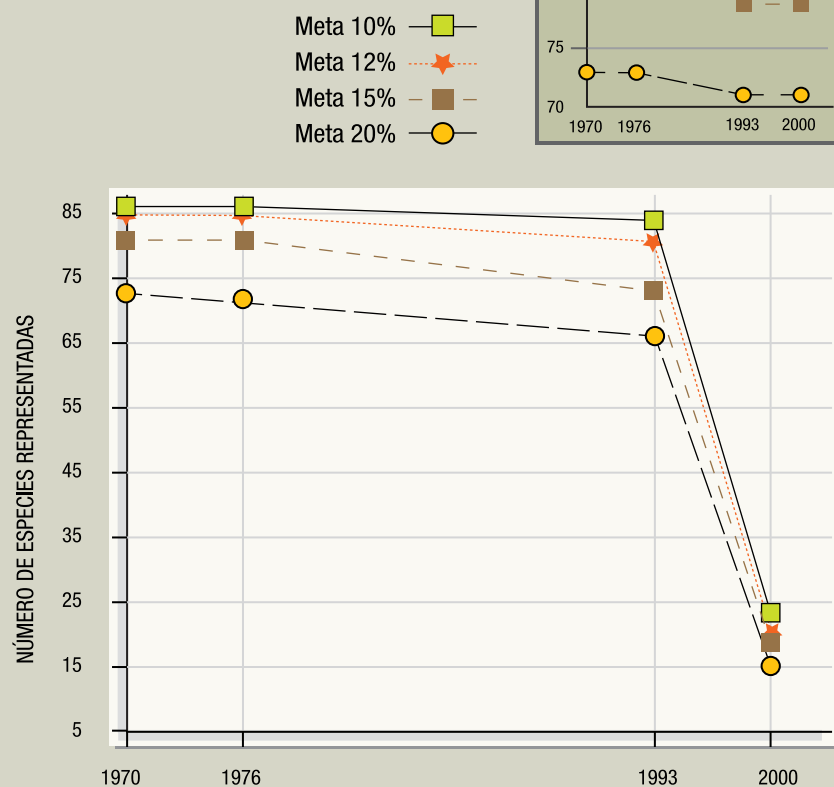
En los últimos 30 años, la extensiva deforestación en el país hace que sea urgente determinar su impacto sobre la diversidad biológica y su distribución; particularmente, sobre el tamaño del área de distribución y su configuración para establecer una adecuada red de áreas prioritarias de conservación. Con los modelos de distribución potencial y actual de especies se puede cuantificar el proceso de reducción de las distribuciones de un grupo faunístico como consecuencia de la deforestación. En este caso utilizamos el grupo de los mamíferos endémicos de México, que quizás es el grupo faunístico mejor conocido, tanto desde el punto de vista taxonómico como geográfico. Proyectamos la distribución de 86 especies endémicas de mamíferos de México bajo cuatro escenarios con distintos grados de deforestación; el primero, de menor deforestación, tiene como punto de referencia el año de 1970; el segundo, el de 1976; el tercero, 1993 y, finalmente, el cuarto, con la mayor deforestación, el año 2000. Los años de referencia corresponden a las fechas en que fue publicada la cartografía de uso de suelo y vegetación del país, de donde se pueden inferir la transformación de los principales tipos de vegetación en sistemas de cultivo y asentamientos humanos.

El análisis indica que la mayoría de las 86 especies de mamíferos endémicos sufrió una importante reducción en sus áreas de distribución (Fig. 2). Para cada año, considerando la distribución de todas las especies, se seleccionaron las áreas prioritarias de conservación. El resultado es impactante: en el año 2000 se requiere 90% más áreas dedicadas a la conservación que en 1970, para proteger adecuadamente las 86 especies seleccionadas. Adicionalmente, bajo un escenario realista de conservación, si solamente consideramos un 10% de la distribución de cada una de las 86 especies, en el año 2000 se observa una reducción de 79% de las especies que pueden incluirse adecuadamente en una selección de áreas prioritarias de conservación, respecto de lo que se podía en 1970. Por tanto, hay un costo creciente asociado con la deforestación que se manifiesta en la superficie requerida para seleccionar áreas prioritarias de conservación con una buena representación de la diversidad biológica (Figs. 3 y 4). Bajo un escenario de baja deforestación se requiere un área significativamente menor para conservar a todos los mamíferos endémicos de México, comparada con la superficie necesaria bajo un escenario de una alta deforestación.

Indudablemente, estos resultados generan un incentivo para promover programas de conservación en el corto plazo que identifiquen áreas prioritarias con una adecuada representatividad de la biodiversidad del país. En caso contrario, el costo de posponer estrategias de

LA DALIA, FLOR NACIONAL DE MÉXICO

Figura 4. El costo de posponer la conservación de la diversidad biológica, medido como el decremento de la representatividad de mamíferos endémicos en la selección de áreas prioritarias de conservación, incluyendo a las ANPs decretadas. Se muestra, para cada año, el número máximo de mamíferos que puede representarse dentro de un tamaño de área restringido aproximadamente al 7% del territorio nacional. El ejercicio se realizó considerando una meta del 10%, 12%, 15% y 20% de la distribución de cada especie incluida en el estudio. Nótese el decremento notable del número de especies representadas en la selección de áreas prioritarias de conservación del año 1993 al 2000, manteniendo el área dedicada a conservación constante. En el recuadro dentro de la figura, se muestra el mismo ejercicio sin incluir a las ANPs decretadas.



conservación se eleva a medida que las áreas transformadas en sistemas de cultivo y asentamientos humanos se extiendan en el país; cada vez se requerirán más áreas para conservar un número similar de especies, con las dificultades que implica el incluir más superficies para fines de conservación.

Agradecimientos

M. Munguía y F. Figueroa revisaron y aportaron valiosos comentarios al trabajo. Los resultados de esta contribución se han publicado parcialmente en revistas científicas especializadas. Los datos de los especímenes de los mamíferos endémicos de México provienen de las siguientes colecciones científicas, a quienes agradecemos su colaboración: Colección Nacional de Mamíferos, UNAM (CNMA-IBUNAM); University of Kansas Natural History Museum (KUNHM); Centro Interdisciplinario de Investigación y Desarrollo Regional de Oaxaca (CIDIR-Oaxaca); American Museum of Natural History (AMNH); National Museum of Natural History (NMNH); Field Museum of Natural History (FMNH); Museum of Zoology, University of Michigan (UMMZ); Michigan State University Museum (MSU); Museum of Vertebrate Zoology, University of California, Berkeley (MVZ); Texas Tech University Museum (TTU); Texas Cooperative Wildlife Collections, Texas A&M University (TCWC). Víctor Sánchez-Cordero agradece a la Universidad Nacional Autónoma de México el apoyo para realización de este trabajo (PAPIIT, IN-218706).

*Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. victor@ibiologia.unam.mx
 †Section of Integrative Biology, University of Texas at Austin, 1 University Station, Austin, Texas.

El género *Dahlia* está formado por 35 especies, todas nativas de México, de las cuales sólo cuatro constituyen la base genética de la dalia cultivada que hoy podemos admirar. Gracias a su valor estético, ornamental y económico en 1963 fue propuesta como flor nacional por instituciones de enseñanza, oficiales y particulares, como la Sociedad Botánica de México (*Diario Oficial de la Federación*). Su atractivo ha maravillado al mundo entero por sus formas y colores; basta visitar el Jardín de Dalias en Hamburgo, Alemania, con más de 5 mil flores de diferentes variedades que maravillan al visitante por su belleza y diversidad de formas y colores.

El cultivo de esta flor se remonta a la época del esplendor del Imperio azteca, tal como lo atestiguan varios petroglifos de la zona de Xochimilco (actualmente ubicados en el Museo Arqueológico de Xochimilco) y el códice De la Cruz-Badiano, en el que aparece una planta denominada *cohuanenepilli*, que forma parte de un remedio medicinal para destapar el conducto de la orina. Aun cuando la ilustración es muy estilizada, se logra apreciar una flor sencilla que nos recuerda a la dalia silvestre (*Dahlia coccinea*), por su característica flor y los tres foliolos de sus hojas.

Posteriormente, el protomédico de Felipe II, Francisco Her-

nández, en su *Historia natural de las plantas de Nueva España* ilustra a la *acocoxóchitl*: una flor doble, con forma de pelota que semeja una dalia de jardín o *Dahlia pinnata*. Esto permite suponer que las dalias mexicanas fueron empleadas como ornamento y domesticadas mucho antes de la llegada de los españoles y del propio Hernández a la Nueva España en 1571, cuando desembarcó en Veracruz.

Las dalias fueron introducidas exitosamente en Europa a finales del siglo XVIII, vía España. En 1789, don Vicente Cervantes, primer catedrático de botánica, director del Jardín Botánico Virreinal de la Ciudad

de México y miembro de la Real Expedición Española, envió semillas de varias flores mexicanas al abate Antonio José Cavanilles y Palop, profesor y director del Jardín Botánico Real de Madrid. José Cavanilles recibió y cultivó las semillas; con las plantas que crecieron elaboró las primeras descripciones botánicas de algunas de ellas, incluyendo el género *Dahlia*, dedicándolo a Andreas Dahl, botánico sueco discípulo de Linneo. Así fue como la *Dahlia pinnata* apareció como la primera especie del género publicada en el volumen *Icones et Descripciones Plantarum* (1791). Se cree que *D. pinnata*, nativa de México, es resultado de la hibridación

Las especies silvestres de dalia presentan flores sencillas pero con variación de colores, tal es el caso de la *D. coccinea* la cual presenta flores de colores que van de rojo a amarillo.

- 1, 1a. *Dahlia coccinea*
- 2, 2a. *D. merckii*
- 3. *D. sorensenii*
- 4, 4a. *D. imperialis*

