

En el hemisferio norte, los bosques templados son un tipo de vegetación preponderante, y entre los componentes más importantes de su flora está el género *Quercus* (familia Fagaceae), que en nuestro país son vernáculamente denominados “robles” o “encinos”.

Estas plantas tienen una larga y compleja historia evolutiva. Los fósiles más antiguos con características indicativas de este grupo datan del Eoceno temprano, hace unos 50 o 55 millones de años, y fueron encontrados en Norteamérica. Sin embargo, los fósiles directamente relacionados con los encinos actuales tienen entre 25 y 30 millones de años y fueron descubiertos en Asia y Norteamérica. Esto sugiere que el género *Quercus* apareció de manera casi simultánea en ambos continentes, lo cual ha dado lugar a fuertes controversias acerca de su origen geográfico.

Independientemente del debate que rodea su origen geográfico, los inventarios más recientes estiman que existen 430 especies de encinos en el planeta. La mayor riqueza de especies se concentra en Norteamérica (entre 200 y 230 especies), seguido de Asia (aproximadamente 170), Centroamérica (30), Europa (22), el norte de África (tres especies) y Sudamérica septentrional (una especie en Colombia).



En Norteamérica, el mayor centro de diversificación de este género se localiza en las regiones montañosas de México, incluyendo la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre Occidental y el Cinturón Volcánico Transmexicano.

Debido a su gran diversidad, el género *Quercus* posee un elevado valor para la biología de la conservación. Sin embargo, estas plantas también son reconocidas por la relevancia que han tenido en diversas civilizaciones. Por ejemplo, en sus obras *La Ilíada* y *La Odisea*, el poeta griego Homero (siglo VI a.C.) menciona reiteradamente a los encinos como árboles sagrados que ofrecen reposo a los guerreros.

En México, su relevancia cultural data de épocas precolombinas, así consta en obras como el *Libellus de Medicinalibus Indorum Herbis* (*Tratado de Hierbas Medicinales Indígenas*) o *Códice Cruz-Badiano*, donde Martín de la Cruz y Juan Badiano, ambos intelectuales indígenas de ascendencia nahua, detallan el uso de encinos en la medicina tradicional de los pueblos originarios.

Los encinos también sustentan una elevada biodiversi-



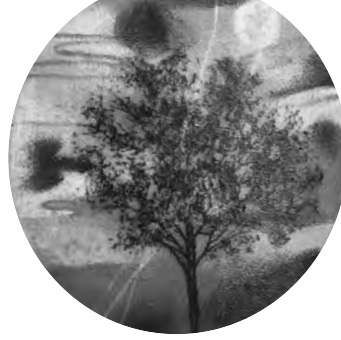
dad en los ecosistemas forestales templados; por ejemplo, los bosques de encinos proveen hábitat para una gran variedad de flora y fauna, incluso se ha sugerido que son los productores primarios que sustentan las tramas tróficas superiores de los ecosistemas forestales templados de Norteamérica. Es decir, son especies clave que mantienen la integridad y el funcionamiento de los ecosistemas de los cuales forman parte.

Los encinos mexicanos

México es el país con la mayor diversidad de encinos en el mundo. Cuenta con 161 especies, de las cuales 109 son endémicas; esto significa que nuestro país contiene más de 40% de la diversidad específica del grupo; pertenecen a diferentes secciones taxonómicas dentro del género y se diferencian por sus características florales: 81 especies de la sección *Quercus*, llamados encinos blancos (47 endémicas), 76 de *Lobatae*, los encinos rojos (61 endémicas) y cuatro de *Protobalanus*, enci-

nos dorados (una endémica). Presentes en todos los estados de la república, se destacan Oaxaca y Nuevo León con 48 y 47 especies, respectivamente, seguidos de Jalisco y San Luis Potosí con 45 especies cada estado. Actualmente, los bosques dominados por encinos cubren aproximadamente 5% de la superficie del país, lo cual se incrementa hasta 15% si se incluyen los bosques codominados por encinos y pinos.

Estas plantas leñosas ocupan el segundo lugar de aprovechamiento forestal a nivel nacional, solamente superados por los pinos. Su madera se destina a distintas actividades, como la producción de pulpa de celulosa y la construcción de muebles y embarcaciones, y figuran entre las fuentes más importantes de leña y carbón para las poblaciones rurales. Además, los bosques de encinos son zonas de captación de lluvia y recarga de mantos acuíferos, especialmente en la zona central del país, donde muchos asentamientos humanos dependen de estos ecosistemas forestales para el aprovisionamiento de agua dulce. La elevada diversidad y relevancia socioeconómica del grupo conducen a plantearse cuál será el futuro de estos bosques frente a los actuales escenarios de cambio ambiental asociados a las actividades humanas.



El futuro de los bosques de encinos en México frente al cambio global

Regeneración ante el cambio

La regeneración natural de los bosques incluye todos los procesos que facilitan la incorporación de nuevos individuos a las poblaciones de plantas para reemplazar a los que mueren, lo cual permite mantener la integridad funcional de los ecosistemas forestales en el tiempo. La regeneración ocurre principalmente mediante la germinación de sus bellotas, que son el fruto característico de este grupo de plantas; en términos botánicos, éstas son frutos secos, tipo nuez, que contienen una sola semilla en su interior. Su germinación inicia con la absorción de agua a través de los tejidos que protegen a la semilla (pericarpio), lo que activa el crecimiento celular del embrión, produciendo la elongación del eje embrionario; el proceso de germinación culmina cuando un pequeño brote, llamado radícula, emerge a través de las estructuras que rodean la bellota.

Sin embargo, las bellotas son muy sensibles a cambios en las condiciones ambientales; se ha documentado que cualquier factor que reduzca su contenido de humedad puede causar la muerte del embrión. Posteriormente, si la germinación es exitosa, las plántulas resultantes deben sobrevivir hasta convertirse en reclutas que persistan y se conviertan en adultos reproductivos.

Las plántulas también son muy sensibles a las condiciones del medio que las rodea, especialmente en este tipo de especies arbóreas que reclutan bajo el dosel de los bosques. En esta etapa del ciclo de vida, los incrementos en la temperatura o las condiciones de escasez de agua repercuten negativamente sobre el desempeño fisiológico de las plántulas de los encinos, causando reducciones en sus tasas de crecimiento e incluso su muerte si las condiciones adversas persisten.

Teniendo en cuenta estos aspectos de la regeneración

forestal, cabe preguntarse qué está ocurriendo hoy con los bosques de encinos mexicanos y qué les depara el futuro, ya que estos ecosistemas enfrentan dos grandes amenazas vinculadas con actividades humanas.

El cambio en el uso del suelo es la principal amenaza. Entre la época colonial y finales del siglo pasado, más de 60% de la superficie de los bosques templados de México fue reemplazada por campos agropecuarios. Sin embargo, muchos de estos campos están hoy abandonados debido a la sobrexplotación de los suelos y la falta de políticas sustentables para el sector rural.

Aunque se podría pensar que tal situación representa una oportunidad para que las especies vegetales nativas recolonizen esos sitios, la evidencia científica indica lo contrario. Los estudios enfocados en la regeneración de encinos indican que su reclutamiento en campos abandonados es extremadamente bajo o incluso

nulo debido a que las condiciones ambientales en tales sitios (como una elevada temperatura y bajas tasas de retención de agua en el suelo) son desfavorables para la germinación de las bellotas y el establecimiento de las plántulas. La regeneración de estos bosques en zonas degradadas por las actividades humanas representa un gran desafío para la ecología de la restauración.

A esto se suma el actual panorama de cambio climático que sufre el planeta, el cual representa una amenaza potencial para el mantenimiento de dichos bosques. Los modelos de cambio climático aplicados en México por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático predicen que, entre mediados y finales de este siglo, habrá un incremento promedio de 2 a 5 °C en la temperatura del aire, lo que estaría acompañado de una disminución de 10 a 20% de agua de lluvia.

Estos cambios ambientales pudieran representar escenarios altamente desfavorables



Erik J. Sánchez Montes de Oca y Ernesto I. Badano



para la germinación de las bellotas, ya que favorecerían los procesos de pérdida de agua. Así, de no aplicarse medidas urgentes para mitigar el cambio climático, las condiciones ambientales previstas para el futuro pueden reducir las tasas de reemplazo de individuos en las poblaciones de encinos, lo que pondría en peligro el mantenimiento de dichos bosques.

Medio y germinación

La experimentación es la manera más fiable para predecir el resultado de un evento a corto plazo. Sin embargo, diseñar experimentos biológicos para predecir el resultado de un evento

en el mediano o largo plazo representa un desafío mayor, especialmente cuando se efectúan en condiciones de campo. Esto se debe a que los experimentos son influidos por un gran número de variables ambientales que no pueden ser controladas en su totalidad y cuyos valores a futuro no pueden simularse con exactitud. Es uno de los motivos por los cuales los experimentos destinados a predecir el impacto del cambio climático sobre los procesos de regeneración de bosques son escasos.

No obstante, este tipo de experimentación es requerida para generar conocimientos empíricos que puedan ser aplicados al diseño de acciones y políti-

cas públicas destinadas a mitigar el impacto del cambio ambiental en los ecosistemas naturales. Sobre esta base, un grupo de investigadores y estudiantes del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. (IPICYT), ha efectuado experimentos en campo para establecer la manera en que los incrementos en la temperatura y las reducciones en la precipitación esperados en el futuro afectarán la regeneración de encinos, tanto en sus bosques como en áreas degradadas por las actividades humanas.

Estos experimentos fueron llevados a cabo en Sierra de Álvarez, San Luis Potosí, una región prioritaria para la conservación a nivel nacional según la SEMARNAT. Allí se seleccionó un bosque bien conservado, con muy bajo impacto antrópico, y un área deforestada adyacente que era utilizada para el pastoreo de ganado. En ambos sitios se instalaron parcelas experimentales donde se simulaban las condiciones de cambio climático antes mencionadas, las cuales consistían en cámaras de techo abierto (OTC por *Open Top Chambers*) para simular incrementos de temperatura, y que estaban acopladas a reductores de precipitación.

Por cada parcela experimental sometida a simulación de cambio climático se instaló una de control bajo las actuales condiciones climáticas. En todas se sembraron bellotas de tres especies de encino rojo

(sección *Lobatae*) predominantes en la zona, incluyendo una de amplia distribución (*Q. castanea*, que está presente en México y Guatemala) y dos endémicas (*Q. crassipes* y *Q. mexicana*, sólo en México). Estos experimentos se iniciaron en junio de 2014, monitoreándose constantemente en todas las parcelas las condiciones de temperatura y precipitación, así como también la germinación de las bellotas y supervivencia de las plántulas resultantes.

Tras un año de registros se compararon las condiciones climáticas y la germinación de bellotas entre las parcelas control y las sometidas a simulación de cambio climático. Estos resultados indicaron que las OTC acopladas a reductores de precipitación simulan adecuadamente las condiciones de cambio climático esperadas entre mediados y finales de este siglo. Tanto al interior del bosque como en el área deforestada, estas estructuras incrementaron la temperatura promedio del aire de 1.5 a 2.8 °C y redujeron la precipitación en 9 a 11%, en comparación con las parcelas control.

Sin embargo, los patrones de germinación de bellotas difirieron bastante de los resultados esperados. En el interior del bosque, las bellotas de *Q.*



Cuadro 1. Parcelas experimentales sometidas a simulación de cambio climático (OTC acoplada a reductores de precipitación) instaladas al interior del bosque (izquierda) y en el área deforestada (derecha). Las OTC fueron construidas con paneles de acrílico transparente de alta transmitancia (transmisión de longitud de onda inferior a 280 nm). Este diseño reduce la circulación del aire al interior de las OTC sin alterar la cantidad de luz que ingresa a ellas, incrementando la temperatura del aire entre 1 y 3 °C en relación con el ambiente externo. Los sistemas de reducción de precipitación consistieron en canaletas de policarbonato transparente que cubrían 10% de la superficie de las OTC para interceptar una cantidad equivalente de agua de lluvia. Las parcelas control, por otra parte, solamente fueron perimetradas con malla de alambre (apertura de 13 mm) para evitar el acceso de roedores que pudieran consumir las bellotas sembradas.

castanea y *Q. crassipes* mostraron mayor capacidad de germinación en las parcelas sometidas a simulación de cambio climático, mientras que las bellotas de *Q. mexicana* no mostraron diferencias entre estas parcelas y los controles. Por otra parte, la simulación de cambio climático en el área deforestada estimuló solamente la germinación de bellotas de *Q. castanea*, mientras que redujo la germinación de las bellotas de *Q. crassipes* y *Q. mexicana*.

Estos resultados sugieren que las respuestas de germinación de bellotas ante el cambio climático pueden ser difíciles de predecir, ya que la dirección de la respuesta (positiva o negativa) depende tanto de la especie de encino que se esté estudiando como del tipo de hábitat (bajo el dosel del bosque en o áreas deforestadas) donde se encuentren sus bellotas.

A diferencia de lo observado en las bellotas, la supervivencia de las plántulas mostró

patrones altamente consistentes entre especies de encinos, tanto al interior del bosque como en el área deforestada. En todos los casos, las tasas de supervivencia de plántulas fueron menores en las parcelas sometidas a simulación de cambio climático que en las parcelas control, aunque cabe destacar que fueron mucho más bajas en el área deforestada que en el interior del bosque.

Esto conduce a pensar que, aunque la germinación de bellotas en algunas especies de encinos puede ser favorecida por el cambio climático, sus plántulas no tolerarán tales condiciones. En consecuencia, se concluye que el cambio climático representa una grave amenaza para el mantenimiento de los bosques de encinos, ya que puede reducir las tasas de reemplazo de indi-




viduos en las poblaciones. Otra conclusión importante de los experimentos es que, al reducirse la supervivencia de las plántulas, el cambio climático también repercutirá negativamente en el éxito de las acciones destinadas a restaurar áreas deforestadas.

Una reflexión final

Pese a la gran relevancia ecológica, económica y cultural de los encinos, estos árboles raramente son considerados componentes importantes de los ecosistemas forestales templados del país. Sin embargo, debido al alto número de especies endémicas y las fuertes amenazas que representan para su persistencia el cambio en el uso del suelo y el cambio climático, al menos parte de sus especies debieran ser consideradas prioritarias para la conservación.

Hoy día, ningún miembro del género *Quercus* está incluido en el marco legal que regula la protección de espe-

cies en México (NOM-059-SE-MARNAT-2010 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente) y las agencias forestales nacionales no suelen incluir este grupo dentro de las acciones de reforestación. Esto se debe a la poca información existente acerca de la ecología de la regeneración de encinos, y es aún menor el número de estudios enfocados en evaluar sus respuestas ante el cambio ambiental global.

Para revertir tal situación se requiere el compromiso de múltiples sectores de la sociedad. Gran parte de la responsabilidad recae sobre los científicos, quienes debiéramos generar conocimientos relevantes sobre la ecología de éste y otros grupos de organismos para transmitirlos por los canales pertinentes al resto de la sociedad. De otra manera, los tomadores de decisiones no podrán diseñar políticas públicas efectivas en materia de conservación ambiental. 

Erik J. Sánchez Montes de Oca y Ernesto I. Badano

División de Ciencias Ambientales, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badano, E.I. 2011. "Conservation and restoration of Mexican forests in the global change scenario: a shared responsibility with multiple benefits", en *Madera y Bosques*, vol. 17, pp. 7-18.
- Baskin, C. y J. Baskin. 2014. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego.
- Henry, G.H.R. y U. Molau. 1997. "Tundra plants and climate change: the international tundra experiment (ITEX)", en *Global Change Biology*, vol. 3, pp. S1-S9.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2015. *Cambio Climático en México* (<http://cambioclimatico.inecc.gob.mx>).
- Kizos, T. 2014. "Social-cultural values of oak wood-pastures and transhumance in Greece", en *European Wood-Pastures in Transition: A Social-Ecological Approach*, T. Hartel y T. Plieninger (eds.). Routledge, New York. Pp. 171-181.
- Luna-Jose, A.L., L. Montalvo-Espinosa y B. Rendón-Aguilar. 2003. "Los usos no leñosos de los encinos en México", en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, vol. 72, pp. 107-117.
- Nixon, K.C. 2005. "Global and Neotropical distribution and diversity of oak (Genus *Quercus*) and oak forests", en *Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak Forests*, M. Kappelle (ed.). Springer-Verlag, Berlín. Pp. 3-16.
- Steele, M.A. y Smallwood P.D. 2002. "Acorn dispersal by birds and mammals", en *Oak Forest Ecosystems: Ecology and Management for Wildlife*, W.J. McShea y W.M. Healy (eds.). Johns Hopkins University Press, Baltimore. Pp. 182-195.
- Valencia, S. 2004. "Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México", en *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, vol. 75, pp. 33-53.
- Zavala Chávez, F. y E. García-Moya E. 1996. *Frutos y Semillas de Encinos*. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco.

IMÁGENES

P. 86: Jessie Violet van Herring. P. 87: Døminika Liskazlevandul; Brūcius von Xylander. P. 88: andreabombayfour.