

# Vida Científica

## NOVEDADES CIENTÍFICAS EN 2013

### EN CIENCIAS AMBIENTALES

#### INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SUPERVIVENCIA DEL LINCE IBÉRICO (*LYNX PARDINUS*)

El lince ibérico (*Lynx pardinus*) está incluido en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) dentro de la categoría "en peligro crítico de extinción, CR", siendo considerada la especie de felino más amenazada del mundo. Su área de distribución se ha reducido drásticamente de 40.600 km<sup>2</sup> en 1950 a 1.093 km<sup>2</sup> en 2013. En muestreos recientes se ha estimado que existen aproximadamente 300 individuos en su hábitat natural repartidos en los dos núcleos principales de Doñana y su entorno y de Sierra Morena (Córdoba-Jaén) (Figura 1).



Figura 1: La distribución del lince ibérico (*Lynx pardinus*) se limita a grupos reducidos principalmente en zonas de Doñana y Sierra Morena como resultado de la fragmentación de su hábitat natural por el desarrollo de la agricultura y la industria.

Este importante descenso se asocia a las fuertes reducciones en las poblaciones de conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*), principal fuente de alimento del lince ibérico, a causa del virus de la mixomatosis, y más recientemente a la enfermedad hemorrágica vírica (EHV), que se detectó por primera vez en España en 1988. Esta enfermedad se caracteriza por ser altamente contagiosa, y afectar a las funciones hepáticas, incluida la coagulación de la sangre, provocando además graves lesiones en la tráquea y los pulmones y hemorragias en casi todos los

órganos. Provoca una elevada mortalidad que puede alcanzar el 90% de los conejos infectados, y solo los individuos con edades menores de las 4-8 semanas muestran resistencia a la enfermedad, aunque recientemente se ha

detectado una nueva cepa que afecta principalmente a los gazapos menores de 30 días, provocándoles ictericia (coloración amarillenta en la piel y mucosas) y epistaxis (hemorragias nasales). Además la escasez de presas se ha visto incrementada por una excesiva caza de conejos, así como la fragmentación y modificación de su hábitat. Otras causas que han contribuido a aumentar la mortalidad no natural del lince ibérico y que han reducido aún más las poblaciones han sido las trampas, la caza furtiva y los atropellos que se han triplicado en los últimos años.

Dentro de la Estrategia Nacional para la Conservación del Lince Ibérico se ha puesto en marcha programas de conservación *ex-situ* o cría en cautividad cuyos objetivos principales son la conservación de la variabilidad genética actual y la producción de ejemplares que puedan reintroducirse en las áreas de distribución histórica. Al mismo tiempo, la gestión se está dirigiendo hacia un aumento de la capacidad de carga de los sitios de reintroducción a través de la restauración del hábitat, la reubicación de los conejos y la limitación de las muertes relacionadas directamente con actividades antropogénicas. Aunque se están llevando a cabo numerosas acciones para evitar la extinción de esta especie carismática y desde 1994 se ha dedicado una financiación que supera los 94 millones de euros, parece que en los planes de recuperación no se está teniendo en cuenta otras amenazas como el cambio climático y su influencia en la abundancia de la presas. Por ello, un equipo de investigadores de diferentes universidades y centros de investigación internacionales, entre los que se encuentra el Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), han llevado a cabo un análisis sobre los probables efectos del cambio climático sobre esta especie (*Nature Climate Change*, 3, 899–903, 2013). Según este artículo, el cambio climático tendrá una influencia negativa y rápida en la abundancia del lince ibérico (Figura 2) que superará su capacidad de adaptación o de dispersión a regiones climáticas más favorables donde la densidad de presas sería suficiente para que se mantuviese la población.

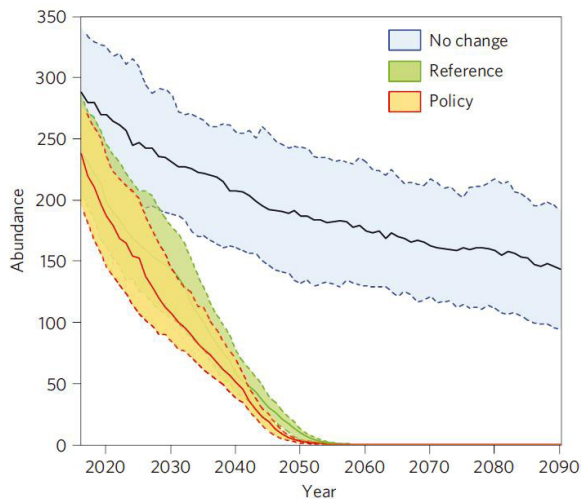


Figura 2: Previsión de la abundancia del lince ibérico (*Lynx pardinus*) en la Península Ibérica desde 2015 hasta 2090 en tres escenarios de cambio climático posible.

En sus investigaciones han realizado simulaciones utilizando modelos de nicho ecológico y de metapoblaciones con dinámica tipo fuente-sumidero (source-sink) para predecir la respuesta demográfica del lince Ibérico a los efectos combinados de diferentes variables como el cambio climático, la disponibilidad de presas, cambios en el uso del suelo y la gestión. Los sistemas fuente-sumidero son muy útiles para explicar los diferentes gradientes poblacionales de una determinada especie dentro de un mosaico de paisaje debido a la heterogeneidad de hábitats y disponibilidad de recursos.

Los hábitats fuente (source) son los que alberga una población en la que la natalidad excede la mortalidad y la emigración excede a la inmigración, mientras que un hábitat sumidero (sink) posee una población con un balance negativo entre la natalidad y la mortalidad, estando abocada a la extinción en ausencia de inmigración.

A partir de estos modelos han estimado que el tiempo de extinción de las poblaciones silvestres sería menor de 50 años, incluso aunque se produjesen reducciones en las emisiones antropogénicas de los gases de efecto invernadero a nivel global (por ejemplo, estabilización en una concentración de 450 ppm de CO<sub>2</sub>). Los posibles escenarios climáticos que han utilizado son: "sin cambio climático" donde se considera que la temperatura y las precipitaciones se mantienen estables desde el año 2000, un escenario denominado "político" donde se asume una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y finalmente el escenario de "referencia" con altas concentraciones de CO<sub>2</sub>. Los resultados indican que la extin-

ción de la especie se produciría a un ritmo ligeramente superior y posiblemente antes (2051) en el escenario político que en el de referencia (2054), debido a que la sustitución de los combustibles fósiles como el carbón por energías alternativas más limpias podrían crear inicialmente condiciones climáticas más adversas (clima más cálido y seco antes de 2050) para el lince ibérico y su principal presa (conejos). En el futuro la implementación de estrategias de reubicación cuidadosamente planificadas teniendo en cuenta simultáneamente los efectos del cambio climático, la disponibilidad de presas condicionado por la enfermedad, y la conectividad de los hábitats, serán cruciales para la supervivencia de la especie puesto que podrían suponer un aumento de la población de lince de hasta casi 900 individuos repartidos en diferentes subpoblaciones. Asimismo sería de interés considerar otras regiones potenciales que presentes las condiciones adecuadas para la viabilidad de la población además de las zonas asociadas históricamente a esta especie.

#### IMPORTANTE PAPEL DE LAS RAÍCES Y LOS HONGOS EN EL SECUESTRO DE CARBONO EN LOS BOSQUES BOREALES

Los bosques boreales ocupan el 11% de las tierras emergidas del planeta, y contienen el 16% del carbono total secuestrado en los suelos. Hasta hace relativamente poco, se creía que la mayor parte de la materia orgánica del suelo provenía de los restos vegetales, tales como hojarasca, ramas, etc., acumulados sobre su superficie, siendo la calidad de este material vegetal y sus tasas de descomposición los factores que controlaban la acumulación de materia orgánica en el suelo a largo plazo. Sin embargo, una gran proporción del carbono fijado en la fotosíntesis es dirigido hacia capas más profundas del suelo, donde se encuentran las raíces y los microorganismos asociados a éstas. Es necesario estudiar el efecto de esta elevada acumulación de materia orgánica en los horizontes profundos del suelo sobre las tasas de secuestro de carbono con objeto de poder predecir el comportamiento de los reservorios de carbono de los bosques boreales ante el cambio climático, el aumento del nivel de CO<sub>2</sub>, cambios en las prácticas de gestión de estos bosques y otras posibles alteraciones ambientales.

Un estudio (*Science*, 339, 1615-1618, 2013) ha datado por técnicas de <sup>14</sup>C varias muestras de suelo tomadas a diferentes profundidades, procedentes de 30 islas cercanas a los lagos Hornavan y Uddjaure, del norte de Suecia,



Figura 3: Una de las islas pequeñas situadas junto al lago Uddjaure (Suecia) cubiertas de bosque boreal.

las cuales se encuentran cubiertas de bosque boreal (Figura 3).

Con ello, se pretendía estudiar el secuestro de carbono en el suelo a lo largo de diferentes escalas tiempo en dos tipos de islas: grandes y pequeñas. La diferencia entre ellas estriba en que las islas grandes sufren incendios más frecuentemente, mientras que las pequeñas no han tenido incendios en los últimos 5.000 años. En los ecosistemas donde no han tenido lugar incendios en largos periodos de tiempo, la prolongada acumulación de materia orgánica permite una capa de humus en el suelo de más de 1 metro de profundidad.

El modelo planteado en este estudio estimó que en el caso de las islas grandes el 47% del carbono del suelo acumulado en los últimos 100 años provenía de la zona de las raíces y de los hongos que tienen relaciones simbióticas con ellas, mientras que en las islas pequeñas esta fracción llegó a ser incluso del 70% (Figura 4).

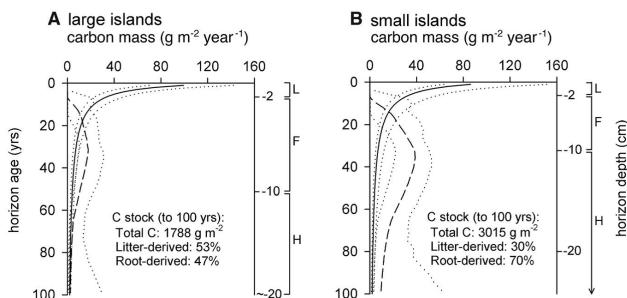


Figura 4: Estratificación vertical del carbono en bosques boreales de islas grandes (a) e islas pequeñas (b). Línea continua: estimación del carbono proveniente de la descomposición de la capa orgánica superficial; línea discontinua: estimación del carbono proveniente del transporte a través de las raíces hacia zonas más profundas. L (litter): capa superficial de restos vegetales; F (fragmented litter): capa de restos fragmentados; H: humus.

Así, el carbono procedente de las raíces y hongos representa una importante contribución al desarrollo del humus del suelo en estos ecosistemas, siendo mayor en las islas pequeñas posiblemente debido a tasas de descomposición más lentas en estos suelos.

Los hongos juegan un papel fundamental en los bosques boreales, tanto como descomponedores de la materia orgánica como intermediarios con las raíces de la respiración y transpiración de carbono. Los análisis de este estudio también sugieren que las comunidades fún-

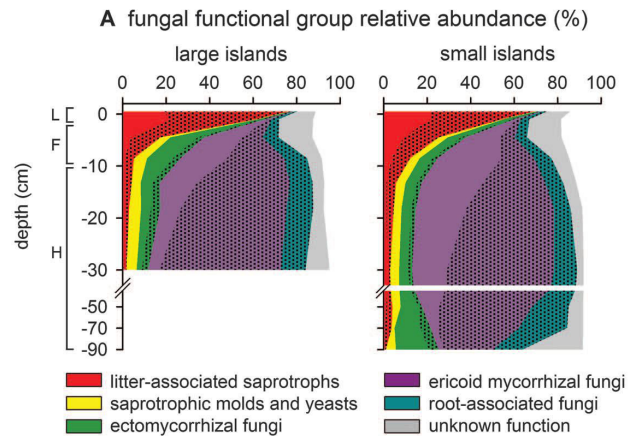


Figura 5: Abundancia relativa de diferentes grupos de hongos en función de la profundidad en los bosques boreales de islas grandes y pequeñas.

gicas de las capas más superiores del suelo, donde se encuentra la hojarasca, estuvieron dominadas por saprotrofos de vida libre en el suelo (Figura 5).

En cambio, los hongos micorrícicos y otros hongos asociados a las raíces dominaron los horizontes más profundos, en donde el modelo registró mayores diferencias en el secuestro de carbono entre tamaño de islas. A dicha profundidad, los saprotrofos de vida libre (principalmente mohos y levaduras) contribuyeron en mucha menor medida a la dinámica de la materia orgánica que los hongos asociados a las raíces.

Así, los resultados muestran que la descomposición de la capa superficial de restos vegetales de estos bosques no puede explicar por sí sola el incremento de la tasa de acumulación de materia orgánica a lo largo del tiempo tras un incendio, siendo las raíces y los hongos simbióticos de las raíces un factor adicional considerable en el balance de carbono en estos ecosistemas y por tanto en el ciclo biogeoquímico global del carbono.

Esto pone en tela de juicio el dogma anterior, en el que se proponía que la acumulación de humus está principalmente regulada por la descomposición de los restos vegetales superficiales realizada por hongos saprotrófi-

cos, sino que la capa orgánica se desarrolla en horizontes profundos por la adición de carbono fijado recientemente proveniente de restos de raíces y hongos simbióticos. Los cambios ambientales, tales como la fertilización y deposición de nitrógeno, el manejo de las explotaciones forestales y las elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub>, podrían afectar considerablemente a la retención de carbono en el suelo debido a la alteración de los procesos que tienen lugar en la rizosfera, los cuales deberían ser tenidos en cuenta en futuros modelos.

### LA PÉRDIDA DE POLINIZADORES ESPECÍFICOS DE UNA SOLA ESPECIE REDUCE LA CAPACIDAD REPRODUCTORA DE LAS PLANTAS

En la actualidad las poblaciones de muchas especies polinizadoras, como las abejas, están en declive, probablemente debido al abuso de pesticidas, lo que puede llevar a severos impactos sobre la reproducción de la flora silvestre y sobre la producción de los cultivos. Las simula-

ciones llevadas a cabo hasta ahora con polinizadores han pronosticado que las plantas no sufrirían impactos importantes hasta que la mayoría de especies polinizadoras hayan desaparecido del ecosistema. Sin embargo, dichos resultados no han sido contrastados empíricamente. Además, estos modelos no han tenido en cuenta las interacciones existentes entre las distintas especies polinizadoras que compiten entre sí.

La teoría ecológica afirma que cuando la competencia interespecífica aumenta, las especies del ecosistema tienden a especializarse en el tipo de recursos utilizados y hábitats ocupados. Por el contrario, un aumento de la competencia intraespecífica provoca que los individuos de la especie tiendan a hacerse más generalistas, es decir, menos selectivos en la utilización de los recursos y condiciones ambientales. Estos procesos ocurren a escala evolutiva, aunque a escalas de tiempo más cortas la competencia interespecífica también puede llevar a la especialización de las especies debido a la elevada plas-

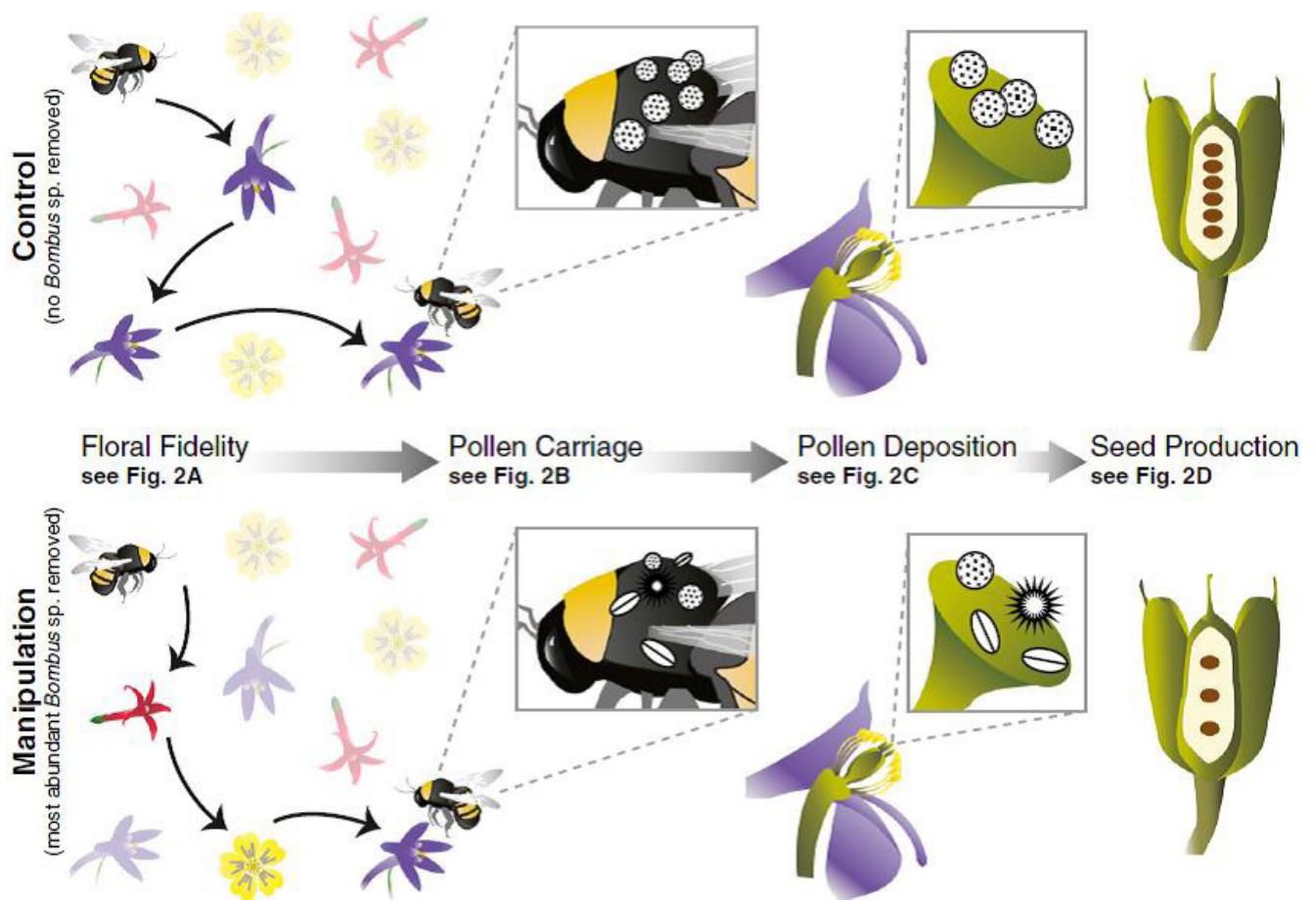


Figura 6: Esquema de los resultados del experimento. Arriba: parcelas control en la que no se retiró ninguna especie polinizadora. Abajo: parcelas manipuladas en las que se retiraron varias especies de polinizadores que sólo actuaban en una única especie de planta.

tividad fenotípica de sus individuos. En el caso de los polinizadores, una elevada competencia puede producir a corto plazo su especialización en una determinada especie de planta, fenómeno denominado “fidelidad floral”, lo cual facilita en gran medida la fecundación de la planta implicada. Por otro lado, la mayoría de especies polinizadoras tienden a ser generalistas, ya que así poseen un mayor repertorio de recursos alimenticios. Por tanto, las interacciones entre distintos polinizadores podría alterar el papel funcional de cada especie, por lo que la pérdida de alguna de estas poblaciones podría llegar a tener repercusiones más graves que las pronosticadas por los modelos actuales.

En un reciente estudio (*Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 13044-13048, 2013) se han realizado varios experimentos de campo en praderas subalpinas de Colorado (EE.UU.) para evaluar el impacto de la pérdida de especies polinizadoras específicas de una sola especie de planta sobre la especialización de los polinizadores (fidelidad floral) y la eficiencia en la polinización de las plantas. Para ello, se manipularon varias parcelas utilizando redes para retirar temporalmente y de forma no destructiva las especies de abejorros (abejas del género *Bombus*) más abundantes (6 especies retiradas). Se identificaron y contaron el número de individuos de dichas especies y se registraron tanto en las parcelas control (donde no se retiraron los polinizadores) como en las manipuladas: la fidelidad floral, el transporte de polen por los insectos, la deposición de polen en el estigma de las flores y la producción de semilla por las plantas (Figura 6). Las plantas analizadas fueron las pertenecientes a la especie *Delphinium barbeyi* (“espuela de caballero”), la cual es polinizada por 10 de las 11 especies de abejorros presentes en el ecosistema de estudio.

Las tasas de fidelidad floral, las proporciones de polen de una sola especie vegetal transportado y depositado por los insectos, así como la producción de semillas, disminuyeron significativamente en las parcelas manipuladas en comparación con las parcelas control. Así, en las parcelas manipuladas los polinizadores se volvieron menos selectivos en el tipo de planta (Figura 7): el número de especies de polinizadores distintos posados en cada especie de planta aumentó en un 156%, a la vez que el porcentaje de abejorros que solo se posaron en una única especie de planta disminuyó de un 77% a un 66% en comparación con las parcelas control. También se observó en las parcelas manipuladas que los abejorros portaban un 17% más de polen mezclado con variedades distintas de especies y que cada planta contenía mayor proporción de polen procedente de otras plantas, lo que impide su fecundación. Estos cambios en el comportamiento de los insectos se reflejaron en una reducción del 32% en la producción de semillas en las parcelas donde se habían retirado polinizadores específicos de una sola especie, lo que merma el funcionamiento del ecosistema.

La biodiversidad puede ser determinante en el funcionamiento del ecosistema. Cuando desaparece un competidor interespecífico, los restantes polinizadores reducen su especialización, es decir, amplían su repertorio de plantas visitadas y, por tanto, muestran una menor fidelidad para cada especie de planta particular. Esta me-

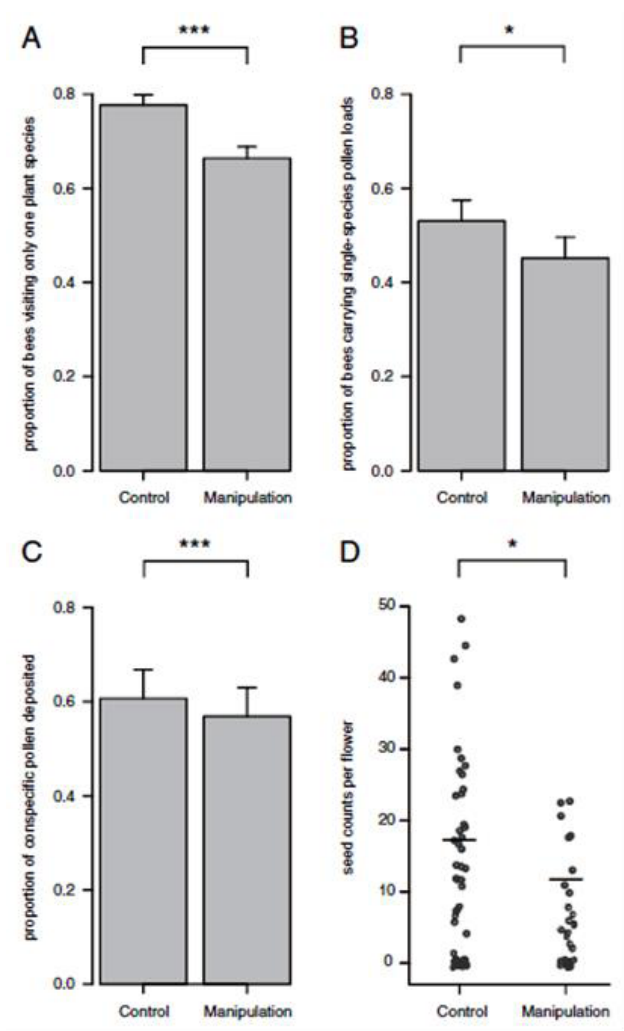


Figura 7: Fidelidad floral, transporte de polen, deposición de polen en los estigmas florales y producción de semillas en las parcelas control y en las parcelas manipuladas. a) Fidelidad floral medida como la proporción de abejas que visitan una única especie de planta; b) fidelidad floral medida como la proporción de abejas que transportan polen de una única especie de planta; c) proporción de polen depositado en una planta de la misma especie; d) cantidad de semillas por flor.

nor fidelidad se traduce en una menor proporción de polen mono-específico transportado por las abejas y transferido entre las plantas de la misma especie, lo que está finalmente reflejado en una menor producción de semillas.

Estos resultados muestran que el papel funcional de cada especie de abeja en el ecosistema no es estático, sino que es dinámico y depende de las interacciones con otras especies competidoras.

Este estudio demuestra así que el declive de las poblaciones de insectos polinizadores podría tener implicaciones negativas sobre las comunidades vegetales más serias que las asumidas por los modelos actuales. Para prevenir alteraciones en la polinización y en otras funciones críticas de los ecosistemas, debemos tratar de conocer los mecanismos y las condiciones en las que la plasticidad fenotípica de las especies y las relaciones de competencia actúan sobre el comportamiento global del ecosistema.

### LOS PINARES DE LA CUENCA MEDITERRÁNEA LIMITADOS POR LA ENCINA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El establecimiento y crecimiento de nuevos árboles es un proceso clave en la evolución y la composición biológica de los ecosistemas forestales. Por ello, es necesario estudiar el estado en que se encuentran los plantones de las diferentes especies de árboles con objeto de evaluar y predecir futuras respuestas de estos ecosistemas de cara al cambio climático. El éxito de estos plantones depende

de varios factores, entre los que se encuentran el estrés hídrico, la sucesión ecológica y sus posibles perturbaciones, así como los cambios de uso del suelo y las prácticas de gestión forestal. La sucesión ecológica determina de forma muy significativa la aparición de nuevos individuos arbóreos, dado que las condiciones ambientales varían durante las diferentes etapas que van teniendo lugar. Así, durante la sucesión, plantones de especies intolerantes a la sombra van siendo sustituidos por árboles maduros característicos de etapas más tardías, tales como las encinas en los bosques de la cuenca mediterránea. Por otro lado, el manejo de las explotaciones forestales y los incendios han sido históricamente también causas de modificación de la sucesión natural y de alteración en la composición de especies de los bosques de la Península Ibérica.

Sin embargo, el abandono de terrenos, el control de incendios y la reducida gestión de las explotaciones forestales en la actualidad podrían limitar del desarrollo de especies de etapas tempranas de la sucesión en los bosques de la Península Ibérica. Además, estos ecosistemas podrían peligrar debido a los futuros impactos del cambio climático, tales como sequías extremas, fuegos más intensos y temperaturas más elevadas. Por ello, en un estudio realizado por investigadores del Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales y la Universidad Autónoma de Barcelona (*Global Ecology and Biogeography*, 2013, doi: 10.1111/deb.12111) se ha evaluado en la Península Ibérica las dificultades en la germinación y establecimiento de nuevos plantones pertenecientes a las diferentes especies de los géneros dominantes de *Pinus* y *Quercus*, los cuales han coexistido en la cuenca mediterránea durante los últimos 3,5 millones de años, así como los factores clave involucrados.

El estudio demuestra que el éxito en la regeneración de las especies de *Pinus* es considerablemente inferior que las de *Quercus* (Figura 8), incluso en zonas ya ocupadas por pinos (Figura 8). Estos sufrieron fracasos en el desarrollo de plantones en el 63% de las parcelas muestreadas, mientras que los *Quercus* sólo obtuvieron fracasos en el 29% de los casos. Las especies más perjudicadas fueron las de montaña, como el pino albar (*P. sylvestris*) y el pino laricio (*P. nigra*), cuyos bosques se encuentran en la lista europea de hábitats de conservación prioritaria.

El limitado desarrollo de los pinos y la mayor expansión de las encinas puede ser debido en parte a los procesos naturales de sucesión ecológica y a las interacciones bióticas. Así, los árboles de *Quercus ilex*, especie de

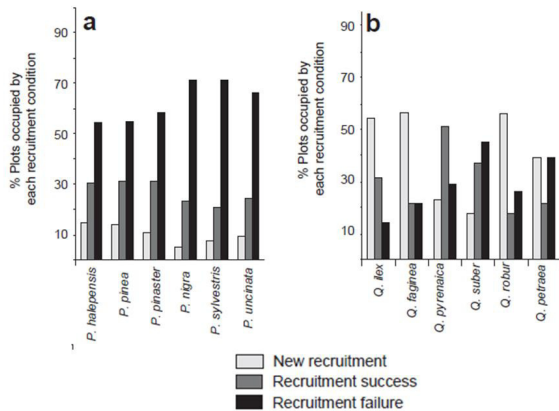


Figura 8: Porcentaje de parcelas en las que se ha observado: presencia de plantones nuevos y de árboles maduros (Recruitment success); presencia de árboles maduros y ausencia de plantones (Recruitment failure); presencia de plantones y ausencia de árboles maduros (New recruitment). (a) especies del género *Pinus*; (b) especies del género *Quercus*.

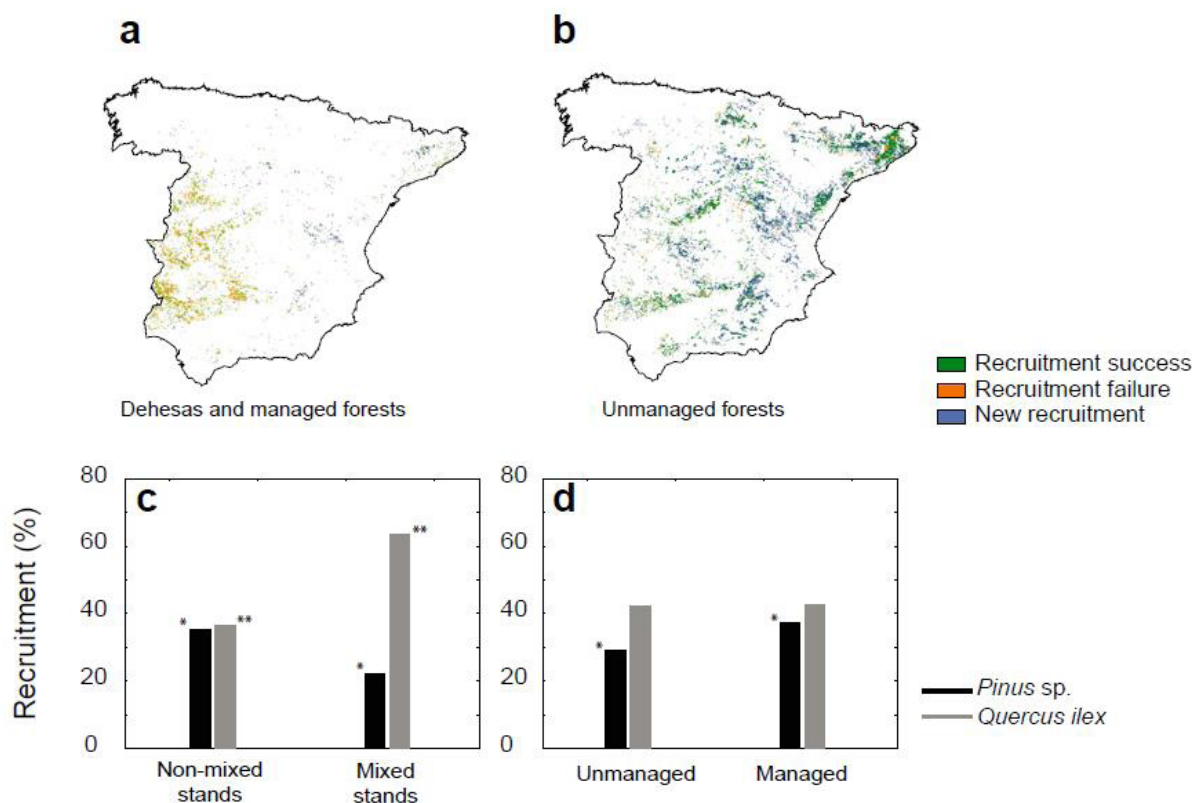


Figura 9: (a-b) Distribución espacial de las tendencias en el establecimiento de plántones en bosques de *Q. ilex*. c-d) Porcentaje del éxito en el establecimiento de plántones de *Pinus* y *Q. ilex* según la composición del bosque (Non-mixed stands: una sola especie presente; Mixed stands: ambas especies presentes) y el tipo de gestión (Unmanaged: sin gestión forestal; Managed: con gestión forestal)

etapas tardías, obstaculizan el desarrollo de la mayoría de especies de *Pinus* ya que durante la sucesión aumenta la cobertura arbórea, lo que disminuye la cantidad de luz y reduce las diferencias de temperatura y el estrés hídrico en el sotobosque, resultando en condiciones más adecuadas para la colonización de las encinas en los bosques de la Península.

También se observó una limitación en el establecimiento de pinares y una mayor expansión de los encinares en zonas donde se ha abandonado la explotación o en las que no se lleva ningún tipo de gestión forestal (Figura 9). Igualmente, los incendios y las sequías, los cuales son potenciados por el cambio climático, produjeron un efecto negativo sobre las especies de pinos no adaptados al fuego ni a condiciones áridas, como *P. sylvestris* y *P. nigra*. En cambio, el aumento de las temperaturas podría expandir la dominancia de *Q. ilex* hacia zonas más altas, donde previamente dominaban las anteriores especies de pinos.

Estos resultados indican que la expansión de los encinares con el cambio climático puede ser un factor clave en la regresión de muchas poblaciones de pino de la Península Ibérica durante el avance de la sucesión ecológica. El aclareo selectivo de las encinas podría ser una herramienta útil para preservar algunos pinares mediterráneos, sobre todo los de pino laricio y pino albar, que son los más afectados.

Consuelo Escolástico y Javier Pérez Esteban.  
 Departamento de Química Orgánica y Bio-Orgánica