Enrique Doblas Miranda, investigador del Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales, es doctor en biología por la Universidad de Granada. En la actualidad su trabajo se centra en la coordinación científica de proyectos relacionados con la influencia del cambio global sobre el bosque, entre ellos, el de MONTES Consolider.

ECOLOGÍA

El bosque mediterráneo ante el cambio global

Las alteraciones ambientales que experimenta nuestro planeta afectan a las comunidades forestales, pero estas también responden e interactúan con los factores del cambio global

Enrique Doblas Miranda

EL SOL SECA SIN COMPASIÓN EL SUELO Y LAS PLANTAS QUE SE AFERRAN A ÉL EN LAS LADERAS DEL Parque Natural del Garraf, en Cataluña. Curiosamente, todos los arbustos de la zona soportan por igual la escasez de agua, incluso los que se hallan sometidos a un esfuerzo extraordinario. Marc Estiarte, del Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF), lleva años investigando la resistencia de las plantas a la sequía a través de un simple mecanismo de privación de lluvia en un área de estudio dentro de este matorral costero mediterráneo. Realiza el experimento con coronillas, brezos de invierno, romero y lentiscos. Sin embargo, hasta ahora el crecimiento de las plantas desprovistas de agua no parece verse tan afectado como se esperaba, en comparación con el de las que sí reciben la escasa lluvia. También en el Parque Nacional de Doñana, en Andalucía, recientes observaciones realizadas por investigadores del CREAF señalan la poderosa capacidad de regeneración de las comunidades arbustivas tras eventos de mortandad provocados por la sequía de 2007. Las plantas mediterráneas parecen, pues, evolutivamente preparadas para resistir condiciones climatológicas extremas... aunque no de forma ilimitada.

EN SÍNTESIS

Los ecosistemas mediterráneos presentan estrategias que les permiten reaccionar ante los diversos factores del cambio global, como el ascenso de la temperatura, los incendios forestales, las invasiones biológicas o la contaminación atmosférica.

Pero, a su vez, poseen la capacidad de modificar esos elementos de cambio. De forma local o regional, influyen en la composición atmosférica y el clima, la disponibilidad de agua para las plantas y el abastecimiento humano, así como en el riesgo de incendios forestales y las invasiones biológicas.

Las reacciones del ecosistema ante los factores de cambio global complican el estudio y comprensión de dicho cambio. Sin embargo, el conocimiento de las estrategias de resistencia y resiliencia del bosque mediterráneo, y la aplicación de estas en la gestión forestal, supone la mejor manera de enfrentarse a él.

LUCÍA GALIANO Y ALBERT RIVAS

El Mediterráneo es uno de los puntos del planeta donde el clima está cambiando de manera más pronunciada. Se predice que las temperaturas ascenderán entre 3 y 5 °C en la península ibérica, especialmente las estivales, pero también aumentará la variabilidad entre años, lo que conllevará un mayor riesgo de olas de calor. Se espera también un descenso de hasta el 30 por ciento de la precipitación, acompañado por una mayor frecuencia de sequías veraniegas. Sin embargo, en otras estaciones pueden aumentar los eventos de precipitación extrema.

Se sabe que el cambio climático está modificando la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. Está provocando una disminución del crecimiento de los árboles y una defoliación de sus copas, y está alterando los flujos de agua y carbono, la fenología de plantas y animales, e incluso procesos clave del suelo, como la descomposición de la materia orgánica. Pero también se ha observado el efecto contrario: los ecosistemas alteran el clima a escala local y regional, o simplemente resisten mejor de lo que se creía al progresivo aumento de la temperatura y a las irregularidades en la precipitación.

Tal respuesta no solo ocurre en relación al cambio climático, sino también frente a otros componentes del cambio global. Este se entiende como el conjunto de alteraciones ambientales que se derivan de las actividades humanas y que afectan al funcionamiento del planeta. Así, numerosos ecosistemas han desarrollado estrategias para responder a los incendios forestales, a las invasiones biológicas, a la contaminación atmosférica o incluso a prácticas de gestión agresivas, con lo que logran regenerarse cuando cesan dichas perturbaciones. Los ecosistemas mediterráneos, adaptados por razones históricas, evolutivas y ecológicas a condiciones extremas de variación climática, fuego o manipulación, ofrecen un claro ejemplo de capacidad de respuesta ante el cambio global, a la vez que influyen sobre él.

Pero a pesar de la enorme resistencia y resiliencia (capacidad de recuperación) de los ecosistemas mediterráneos al cambio global, deben tenerse en cuenta varios aspectos. Sometidos a condiciones ambientales por encima del límite de respuesta, estos sistemas, por su situación intermedia entre el desierto del Sáhara y los bosques templados de Europa, tienden a convertirse en otros propios de climas más áridos (principalmente, comunidades arbustivas de escasa cobertura vegetal) desde los cuales resulta muy difícil regresar a la situación inicial [*véase* «Ecosistemas al borde del colapso», por Carl Zimmer; Investigación y Ciencia, diciembre de 2012]. Ello tiene importantes repercusiones en la gestión y la conservación: resultará menos costoso, desde un punto de vista ecológico y económico, promover la propia respuesta de los ecosistemas mediterráneos ante los cambios ambientales para prevenir su transformación, que revertir el proceso de desertificación una vez haya tenido lugar. La capacidad de supervivencia innata de estas comunidades nos puede enseñar las claves para enfrentarnos como sociedad al cambio global, pero también podría tornarse en la prueba más dura de nuestro fracaso.

EL PAPEL MODULADOR DEL BOSQUE

Como ya se ha mencionado, las plantas mediterráneas cuentan con ciertas ventajas evolutivas que las hacen resistentes a los períodos de sequía. Los árboles y arbustos presentan hojas coriáceas y perennes para reducir la pérdida de agua, mientras que las herbáceas poseen la capacidad de regenerarse a través de los bancos de semillas almacenados en el suelo.

Pero la resistencia o la resiliencia no constituyen los únicos mecanismos de defensa de los ecosistemas forestales ante

MARC ESTIARTE, CREAF

Estación experimental en el Parque Natural del Garraf, donde investigadores del CREAF estudian la resistencia de las plantas mediterráneas a la sequía. Para ello les privan del agua de lluvia por medio de techados (dentro de las parcelas delimitadas en forma de rectángulo que se aprecian en la imagen) y las comparan con otras que sí la reciben.

Pese a la devastación provocada por el incendio, el sotobosque mediterráneo se regenera con rapidez. La imagen corresponde a una zona de Horta de Sant Joan (Tarragona), un año después del fuego.

el cambio global. Los bosques absorben y acumulan dióxido de carbono (CO_2), ozono y otros compuestos presentes en la atmósfera que contribuyen al efecto invernadero, con lo que atenúan a escala global el cambio climático. No obstante, Josep Peñuelas, miembro del CSIC y director de la Unidad de Ecología Global del CREAF, y Alex Guenther, del Centro Nacional de Investigación Atmosférica de los EE.UU., entre otros investigadores, han demostrado que también emiten compuestos orgánicos volátiles que, al transformarse en ozono y aerosoles, favorecen el efecto invernadero. Pese a la idea tan socialmente difundida y aceptada de que tener más árboles conlleva una reducción de los compuestos responsables del calentamiento del planeta, no siempre ocurre así.

Por otra parte, la cubierta vegetal contribuye a aumentar el albedo (la parte de la radiación solar incidente reflejada por la Tierra), con lo que hace disminuir la temperatura de la superficie terrestre y atenúa de nuevo el calentamiento global. Sin embargo, el efecto no es uniforme en todo el planeta. La ola de calor de 2003 en Europa demostró que la existencia de una mayor cobertura vegetal en la región mediterránea generaba el efecto contrario debido al fenómeno de la evapotranspiración (la pérdida de humedad debida a la evaporación de agua del suelo y la transpiración de las plantas). Al reducir la vegetación la cantidad de agua almacenada en el suelo, este pierde la capacidad de enfriamiento y aumenta la temperatura de su superficie, lo que empeora las consecuencias de esos fenómenos climatológicos extremos.

De hecho, las masas forestales intervienen de modo determinante en el ciclo del agua. Al absorberla en grandes cantidades, evitan que llegue a los ríos y embalses de los que nos abastecemos. A su vez, la devuelven a la atmósfera mediante la evapotranspiración, con lo que vuelven a ponerla en circulación. En los ecosistemas mediterráneos, donde el agua es un factor limitante, contar con extensas masas forestales en las cuencas podría poner en peligro el abastecimiento de agua para consumo humano en épocas de sequía.

Por otro lado, las masas boscosas conllevan beneficios ambientales indudables frente al cambio climático. Se predice que cada vez habrá más acontecimientos de precipitación extremos y que los bosques resultarán fundamentales para mitigar la erosión provocada por tales eventos y para evitar inundaciones.

En la región mediterránea habría que considerar con mucho cuidado el balance entre las consecuencias positivas y las negativas de una extensa cubierta vegetal. En las zonas más húmedas de la región, principalmente en la parte septentrional, los bosques absorben más compuestos atmosféricos implicados en el efecto invernadero de los que emiten y los mecanismos de disminución de temperatura compensan a los que la aumentan. Pero en las zonas más secas, sobre todo en la parte meridional, sucede lo contrario y además el agua constituye un bien demasiado preciado. En este último caso, nuestra respuesta más inteligente ante el cambio climático debería basarse en una gestión de las masas forestales orientada al ciclo del agua, más que a los cambios en la composición atmosférica [*véase* «Bosques y cambio climático», por Carlos Gracia; Investigación y Ciencia, julio de 2011].

En resumen, contar con más árboles no siempre conlleva ventajas. En las regiones áridas como la mediterránea, los bosques absorben pocos gases de efecto invernadero, reducen el abastecimiento de agua humano e incluso podrían suponer un aumento importante del riesgo de incendio.

INCENDIOS FORESTALES

Muchos de los ecosistemas mediterráneos son típicamente resistentes al fuego y tienen la capacidad de regenerarse, con más o menos vigor, tras el paso de las llamas. Lo hacen sobre todo a través del rebrote de órganos subterráneos o de la germinación de semillas almacenadas en el suelo. Incluso numerosas plantas se sirven del fuego para propagarse. Se trata de las especies serótinas, como el pino carrasco o el marítimo, cuyas semillas solo son dispersadas cuando el fruto es expuesto a las altas temperaturas de un incendio [*véase* «Fuego y evolución en el Mediterráneo», por J. G. Pausas; Investigación y Ciencia, agosto de 2010].

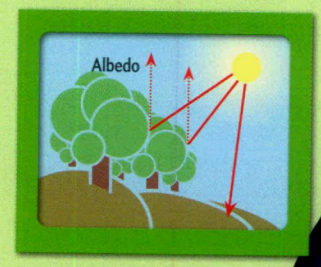
Pero además de su resiliencia innata ante los incendios, el bosque mediterráneo posee una gran capacidad dispersiva de semillas gracias a la fauna que lo habita. Así, aunque ciertas especies vegetales no se hallen en el banco de semillas superviviente, animales como el arrendajo pueden ayudar a su recolonización en los territorios quemados desde las zonas adyacentes no afectadas. Es más, las aves no solo contribuyen activamente a la recuperación del bosque, sino que existen especies adaptadas al aprovechamiento de los nuevos terrenos originados tras los incendios.

No obstante, el intenso régimen actual de incendios está menoscabando ese poder de recuperación, y las previsiones en el marco del cambio climático no resultan nada esperanzadoras. Si bien el número y la extensión de los incendios han disminuido en la región mediterránea desde la implantación de los sistemas de detección y prevención, estos tienen sus limitaciones. De hecho, se prevé que los efectos del cambio climático darán lugar a un aumento del riesgo de incendios ante los cuales no bastarán los medios existentes, como tristemente se demostró el pasado verano en muchos puntos de España (en León y Gerona se superaron las 10.000 hectáreas afectadas y en Valencia pasaron de 60.000). Incluso un bosque «a prueba de incendios» puede terminar perdiendo su capacidad de regeneración debido a un régimen demasiado intenso de fuegos o a la dese-

WIKIMEDIA COMMONS/VICTOR M. VICENTE SELVAS/DOMINIO PÚBLICO

Los bosques resisten y modulan el cambio

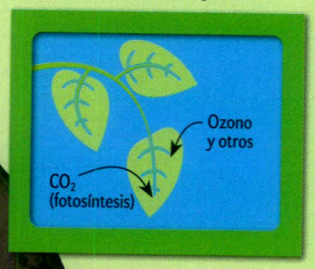
La contaminación atmosférica, el calentamiento del planeta, los incendios forestales, los cambios de uso del suelo y las invasiones biológicas alteran los bosques mediterráneos. Pero estos, además de exhibir una enorme resistencia y capacidad de respuesta, poseen a su vez la capacidad de modular estos factores del cambio global. Unas veces lo atenúan (*verde*), otras lo exacerban (*rojo*). Que esos mecanismos operen en un sentido u otro viene en gran medida determinado por las características del ecosistema de partida, sobre todo, de la estructura y densidad de la vegetación, que, a su vez, dependen en gran parte del clima y la historia de usos de suelo.

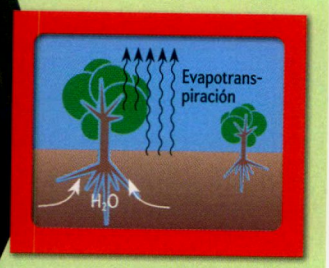


La vegetación **aumenta el albedo**, lo que conlleva un descenso de la temperatura de la superficie terrestre.

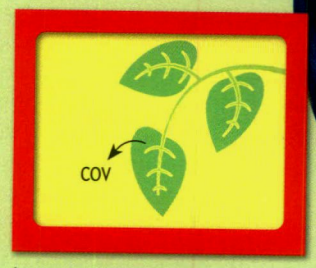
Los bosques degradados resultan más vulnerables a las **invasiones biológicas.**

La vegetación **absorbe gases de efecto invernadero,** como el dióxido de carbono, el ozono y otros gases, por lo que atenúa el calentamiento global.

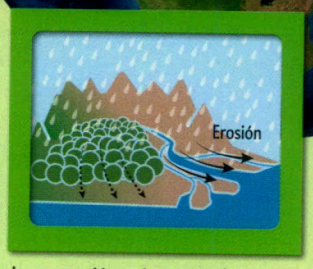




Las masas forestales extensas contribuyen a **disminuir los recursos hídricos** debido a la evapotranspiración del agua almacenada en suelo.



La vegetación **emite gases de efecto invernadero,** principalmente compuestos orgánicos volátiles (COV), por lo que intensifica el calentamiento global.



La vegetación retiene más el agua de lluvia que el suelo desnudo, por lo que **reduce la erosión y las inundaciones.**

Los bosques continuos sin gestionar, formados por árboles de la misma especie y edad, aumentan el **riesgo de incendio.**

cación del banco de semillas, en especial cuando esas catástrofes se combinan con posteriores sequías.

Si ascendemos de escala hasta el nivel de paisaje, el mosaico rural tradicional de la región mediterránea constituye una de las mejores defensas contra los incendios forestales. La heterogeneidad y discontinuidad del paisaje creadas por distintos usos de suelo, entre ellos, diversos tipos de bosques, comunidades arbustivas y cultivos, dificultan la propagación del fuego y ayudan a controlarlo. Francisco Lloret, profesor de la Universidad Autónoma de Barcelona e investigador del CREAF, y otros expertos han señalado en repetidas ocasiones el modo en que los grandes incendios forestales se ven facilitados por la conectividad y homogeneidad del paisaje. Las grandes masas forestales sin roturar o los bosques monoespecíficos de una sola generación, como los originados tras la deforestación por talas o incendios, tienden a ser agrupados y frondosos, lo que facilita el contagio de las llamas. De hecho, los grandes eventos de fuego, de no gestionar apropiadamente el terreno tras la perturbación, generan a medio plazo un bosque continuo y con árboles de edad similar, lo que alienta la repetición del incendio en el futuro.

Actualmente, se tiende a gestionar el bosque tratando de acelerar su recuperación a corto plazo. Esta no parece una estrategia adecuada, porque con el tiempo suele generar bosques densos y monoespecíficos, más propensos a sufrir plagas e incendios. En cambio, el respeto de los ciclos naturales de regeneración, a más largo plazo, fortalece la resistencia natural del ecosistema forestal a nuevas perturbaciones. Así era como los

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

usos de suelo tradicionales de la cuenca mediterránea (como la saca de madera o el pastoreo) contribuían en el pasado a la resistencia de los bosques al fuego.

LOS «NUEVOS BOSQUES»

Existe una larga tradición de utilizar los bosques mediterráneos como proveedores de recursos. Ello explicaría en parte su mayor resistencia ante los actuales ritmos de deforestación en comparación con la de ecosistemas de otras partes del globo.

El lento crecimiento de los árboles y las dificultades de extracción de la madera en la región mediterránea hacen que el uso maderero no resulte competitivo frente al de las formaciones boscosas del norte de Europa o de países tropicales. En cambio, otros aprovechamientos tradicionales promueven el mantenimiento de paisajes con una mayor capacidad de respuesta ante las condiciones adversas. Las dehesas, por ejemplo, no solo proveen de alimento al ganado bovino y porcino, sino que mantienen una sabana en la que la escasa competencia arbórea favorece la resistencia a la sequía. Igualmente, la saca de ramaje para su uso como combustible o el consumo de brotes arbustivos por parte del ganado ovino impiden el desarrollo de las condiciones ideales para la propagación de los incendios.

Por desgracia, esas prácticas tradicionales beneficiosas para el bosque se han ido abandonando progresivamente debido al despoblamiento rural. Ello ha favorecido la formación de «nuevos bosques» en terrenos antiguamente explotados para la agricultura o el pastoreo. Así, en la península ibérica el éxodo rural ha supuesto un aumento del 30 por ciento de la masa forestal en las últimas décadas, mientras que la explotación y los incendios la han mermado en un 1 por ciento.

Uno de los factores clave en la respuesta de los bosques ante el cambio global y del que se posee un escaso conocimiento corresponde al uso del suelo en el pasado. Dos bosques de apariencia semejante pero con un uso histórico del suelo distinto podrían responder de modo diferente ante un episodio de sequía, una gestión intensiva u otra perturbación, o incluso ante cualquier tendencia (como el incremento anual de temperatura). Lluís Brotons, investigador del Centro Tecnológico Forestal de Cataluña (CTFC), se interesa desde hace tiempo por el valor verdadero de los nuevos bosques según los cambios de uso del suelo que experimentaron esas zonas en el pasado. Él y su equipo han demostrado que los ecosistemas más estables, que más tiempo llevan siendo bosque, se recuperan mejor y más rápido tras un incendio que los bosques más jóvenes, como los desarrollados sobre un terreno de cultivo abandonado. Después de una perturbación, la regeneración de un ecosistema o su transformación en otro con menos plantas, propio de condiciones más áridas, puede depender, por tanto, de la trayectoria histórica de usos del suelo.

Los nuevos bosques contribuyen a la merma de los recursos hídricos para el consumo humano y, además, aumentan la conexión entre masas forestales ya existentes, lo que supone un mayor riesgo de incendio a gran escala. Asimismo, esas masas forestales suelen crecer sin que se les aplique una gestión apropiada, de manera que acumulan materia seca y un dosel arbustivo muy propensos a quemarse, se vuelven vulnerables a invasiones biológicas o sucumben ante plagas antes controladas por la mano del hombre.

INVASIONES BIOLÓGICAS

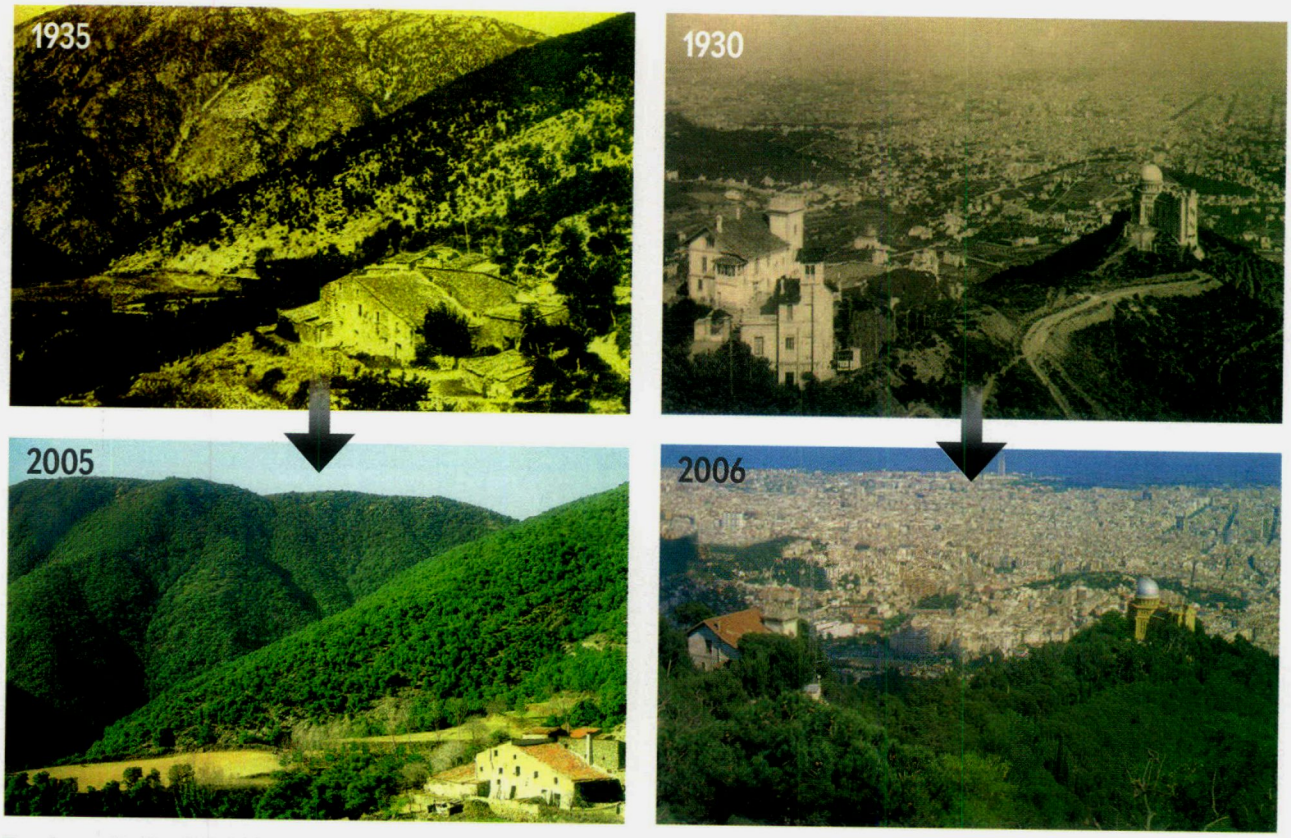
Los procesos de invasión biológica son complejos y dependen no solo de las características de las especies foráneas, sino también de las propiedades del ecosistema receptor, así como de otros factores relacionados con el propio evento de invasión [*véase* «Especies invasoras», por R. Barbault y A. Teyssèdre; Temas de Investigación y Ciencia, julio/septiembre de 2010]. En cualquier caso, los ecosistemas mediterráneos se consideran bastante resistentes a las invasiones debido a sus limitaciones ambientales. Las sequías, los suelos pobres y la presencia de especies muy competitivas, entre otros factores, suelen suponer una desventaja para muchas de las especies exóticas que acceden a ellos.

La regeneración natural después de una perturbación o el abandono de tierras da lugar a la formación de los nuevos bosques, a menudo con una elevada densidad de árboles de la misma especie y edad. De no gestionarse adecuadamente esas masas, generan graves problemas ecológicos, como un mayor riesgo de incendio, plagas o invasiones biológicas.

JAVIER LOSARCOS

Curiosamente, pese a esa resistencia natural a las invasiones, los dos factores clave que determinan la entrada de una especie exótica no dependen del tipo de ecosistema en sí. Se trata del tránsito de personas y mercancías y del grado de perturbación del ecosistema. Ambos factores pueden ser gestionados para su control. Montserrat Vilà, investigadora del CSIC en la Estación Biológica de Doñana, y sus colaboradores en ese centro y en el CREAF llevan mucho tiempo revelando los procesos de invasión en los ecosistemas españoles mediterráneos y en toda Europa, pero también dedican importantes esfuerzos a la labor política, social, divulgativa y educativa necesaria para evitar la contribución humana a esos procesos. Entre otras medidas, han elaborado listas de especies foráneas consideradas de alto riesgo de invasión que son consultadas por aduanas y gestores forestales; también han mejorado los protocolos de respuesta ante distintos grados de invasiones vegetales y animales.

Por otro lado, las perturbaciones como el fuego o una gestión intensiva contribuyen a la introducción de especies foráneas. La apertura de nuevos nichos ecológicos es aprovechada por tales especies, algunas de las cuales se convierten en invasoras. Las nutritivas cenizas que restan tras un incendio o incluso la deposición de nitrógeno procedente de la contaminación atmosférica crean las condiciones ideales para ciertas plantas necesitadas de mayores concentraciones de nutrientes (principalmente, herbáceas anuales, como la avena silvestre) que aprovechan esa «ventana de oportunidad» para establecerse. Actualmente, algunos científicos del CREAF investigan si esas poblaciones pioneras suponen verdaderamente un riesgo para el ecosistema o si, por el contrario, a medida que este se va recuperando, van siendo desplazadas por las plantas autóctonas, mejor adaptadas a la escasez de nutrientes.



Desde mediados del siglo XX, el abandono progresivo de los cultivos y de las prácticas tradicionales de explotación de los recursos forestales ha dado lugar a la regeneración incontrolada de la vegetación. Sin una gestión adecuada, estos «nuevos bosques» presentan un elevado riesgo de incendios, invasiones biológicas y plagas. En las imágenes, se aprecia la reforestación natural que han experimentado a lo largo del pasado siglo dos zonas del Parque Natural de Collserola, en Barcelona.

EL CONOCIMIENTO APLICADO A LA GESTIÓN

Las reacciones de los ecosistemas ante los factores de cambio global aumentan la complejidad existente a la hora de estudiar y comprender dicho cambio. Sin embargo, el conocimiento de las estrategias de supervivencia, resistencia y resiliencia que manifiesta el bosque mediterráneo ante el cambio global nos proporciona una base para enfrentarnos a él, ya que podemos aplicar o favorecer esas estrategias a través de una gestión forestal adecuada.

Carlos Gracia y su equipo de la Universidad de Barcelona han demostrado la posibilidad de predecir, gracias al modelo GOTILWA, medidas de gestión apropiadas para mantener el balance idóneo entre los flujos de agua y dióxido de carbono en los ecosistemas mediterráneos. Teniendo en cuenta la alta competitividad de los árboles por el agua y otros recursos, así como el elevado riesgo de incendio en un bosque demasiado denso, estos investigadores han comprobado que, en los encinares, una de las mejores medidas de gestión corresponde al clareo (la eliminación de una parte de la vegetación o de su ramaje). En esta misma línea, José Ramón González Olabarria, ingeniero del CTFC, ha señalado que la tala selectiva planeada, con la retirada de árboles de ciertas características, puede resultar beneficiosa no solo como manejo preventivo contra los incendios, sino también para el aprovechamiento económico de la madera.

Esas son solo dos ideas aplicadas entre las muchas que surgen tras el estudio de las interacciones entre los factores de cambio global y los montes mediterráneos (bosques, matorrales, prados). Existe un empeño y esfuerzo por parte de la comunidad científica en que los resultados de estas investigaciones se transfieran a la gestión de nuestros bosques. Proyectos como MONTES-Consolider (al cual pertenecen la mayoría de los investigadores nombrados en el presente artículo), así lo demuestran. Pero las intenciones no son suficientes. Desde los altos cargos políticos que toman las decisiones hasta los ciudadanos que con su voz pueden protestar o aplaudir esas acciones, todos debemos comprender que para conservar el bosque ante el cambio global este ha de ser gestionado. Los propietarios, gestores y empresas forestales necesitan recursos e impulso para adaptarse y promover la respuesta natural de los ecosistemas mediterráneos al cambio global; en los casos en que la capacidad de respuesta se ha perdido, para recuperarla, y en los que se mantiene, para protegerla. Como se sugería al principio del artículo, tenemos ante nosotros un reto importante: el de ayudar a superar la prueba más dura a la que se enfrenta la región mediterránea.

PARA SABER MÁS

Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. R. J. Hobbs et al. en *Global Ecology and Biogeography*, vol. 15, págs. 1-7, 2006.

Phenology feedbacks on climate change. Josep Peñuelas et al. en *Science*, vol. 324, págs. 887-888, mayo de 2009.

Water for Forests and People in the Mediterranean Region. Dirigido por Yves Birot, Carlos Gracia y Marc Palahí. European Forest Institute, 2011.

Fire in mediterranean ecosystems: Ecology, evolution and management. Jon E. Keeley et al. Cambridge University Press, 2012.

Projecting trends in plant invasions in Europe under different scenarios of future land-use change. M. Chytrý et al. en *Global Ecology and Biogeography*, vol. 21, págs. 75-87, 2012.

CORTESÍA DEL CREAF