

Biodiversidad, umbrales ecosistémicos, resiliencia y degradación forestal

I. Thompson

El respeto de ciertos principios de ordenación forestal puede conducir al aumento de la resiliencia a largo plazo y a favorecer la adaptación del bosque a los efectos del cambio climático.

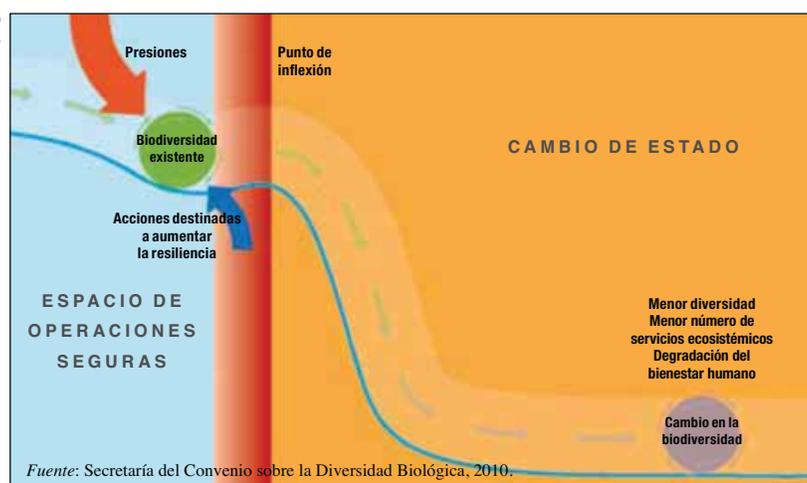
Los bosques encierran múltiples ecosistemas que se asocian, a través de amplias zonas paisajísticas, con la varianza de las pautas edáficas y microclimáticas. La composición y naturaleza de los ecosistemas forestales varía a lo largo del tiempo en consonancia con las perturbaciones naturales y los cambios en el régimen climático, pero se mantiene más o menos constante dentro de los límites de la variación natural (véase la figura), por lo que se la designa con el nombre de estado estable. Un bosque en estado estable puede producir toda una gama de bienes y servicios afines que son objeto de valoración por el hombre.

La biodiversidad es el sostén de la mayor parte de los bienes y servicios ecosistémicos, y muchos bosques tropicales en particular amparan unos elevados niveles de biodiversidad. La pérdida de biodiversidad puede tener consecuencias negativas considerables en la capacidad productiva de los bosques (p. ej., Thompson *et al.*, 2009; Bridgeland *et al.*, 2010; Cardinale *et al.*,

2011) y en la provisión de bienes y servicios forestales. Por lo tanto, dado que la degradación forestal se puede definir como la pérdida de la capacidad del bosque de producir los bienes y servicios esperados (p. ej., FAO, 2009), la pérdida de biodiversidad es el criterio esencial para medir la degradación forestal. La conservación de la biodiversidad es la piedra angular de la ordenación forestal sostenible (p. ej., Proceso de Montreal, 2009) y el factor clave que mantiene en funciones el ecosistema forestal.

En este artículo se estudian las modalidades gracias a las cuales el estado estable de los bosques se conserva en el tiempo, y se indica qué sucede cuando los mecanismos de recuperación natural sufren los efectos arrolladores de los fenómenos perturbadores. Se describe asimismo la función primordial de la ordenación forestal sostenible, incluida la conservación de la biodiversidad, que es el contrafuerte de los mecanismos de recuperación, y se exponen los principios ecológicos aplicables a la ordenación forestal.

Ilustración de los puntos de inflexión o umbrales de los ecosistemas



Ian Thompson es científico investigador del Servicio Forestal Canadiense, Sault Ste. Marie, Ontario (Canadá).

RESILIENCIA Y RESISTENCIA

Definiciones

Una característica importante de los bosques es la *resiliencia*, o capacidad del bosque de recuperarse tras fenómenos de perturbación importantes (p. ej., Gunderson, 2000). Bajo la mayor parte de los regímenes de perturbación natural, los bosques consiguen mantener su resiliencia en el tiempo. La resiliencia forestal es una propiedad ecosistémica emergente que deriva de la biodiversidad en múltiples escalas, y comprende desde la diversidad genética hasta la diversidad paisajística (Thompson *et al.*, 2009). Para mantener la producción de los bienes y servicios que el ser humano obtiene de los bosques, los ecosistemas forestales deben poder restablecerse tras los episodios de perturbación y no sufrir degradación en el tiempo.

Relacionado con el concepto de resiliencia está el de *resistencia*, que es la capacidad del bosque de resistir a alteraciones de menor envergadura a lo largo del tiempo, tales como la muerte de algunos árboles o un nivel crónico de herbivoría provocada por insectos. Los bosques son por lo general conjuntos estables que cambian poco en el tiempo cuando son afectados por perturbaciones no catastróficas. Los cambios de leve importancia son alteraciones susceptibles de mitigación, como los vacíos en el dosel —que se crean por la muerte de algunos árboles o grupos de árboles—, los cuales terminan colmándose rápidamente por el crecimiento de nuevos individuos jóvenes. Los bosques también pueden ser resistentes a ciertos cambios ambientales, tales como las pautas climáticas a lo largo del tiempo, debido a la redundancia de las especies funcionales (la *redundancia* se refiere a la superposición o duplicación de las funciones ecológicas de un grupo de especies; véase Mecanismos) (p. ej., Díaz y Cabido, 2001).

Los ecosistemas pueden ser muy resilientes pero poco resistentes a una determinada perturbación. Por ejemplo, muchos bosques boreales no son especialmente resistentes al fuego pero sí

sumamente resilientes al mismo, y normalmente se recuperan por completo tras la quema al cabo de algunos años. Por lo general, la mayor parte de los bosques naturales, especialmente los bosques primarios viejos, son tanto resilientes como resistentes a diversos tipos de cambios. La pérdida de resiliencia puede ser causada por la pérdida de grupos funcionales (véase Mecanismos y Puntos de inflexión) y deberse a modificaciones ambientales tales como las grandes alteraciones climáticas, a una deficiente ordenación forestal o a una variación intensa y prolongada de los regímenes naturales de perturbación (Folke *et al.*, 2004).

Mecanismos

Existen claros indicios de que la resiliencia forestal está vinculada con la biodiversidad normal, propia del ecosistema (p. ej., Folke *et al.*, 2004; Thompson *et al.*, 2009). En particular, ciertas especies y grupos de especies desempeñan funciones clave en el bosque y son por lo tanto esenciales para el mantenimiento de la totalidad de sus procesos funcionales (Díaz y Cabido, 2001). Por ejemplo, los pájaros depredadores pueden hacer que los índices de abundancia de insectos forestales se mantengan bajos y se reduzca la posibilidad de que ocurra una herbivoría catastrófica de árboles causada por insectos, lo que acarrea un aumento de la productividad arbórea (p. ej., Bridgeland *et al.*, 2010).

Los organismos polinizantes, como algunos insectos, murciélagos y aves, representan también ejemplos excelentes de especies altamente funcionales presentes en el ecosistema, sin cuya intervención la reproducción de las plantas no podría tener lugar. La resiliencia forestal depende en gran medida de estas especies clave y de su función como agentes de un nuevo desarrollo conforme el bosque se recupera tras las perturbaciones sufridas, incluidas las intervenciones de ordenación forestal.

A nivel genético, la capacidad de resiliencia está dada por la aptitud de la especie de persistir en una amplia gama de condiciones de variabilidad ambiental, tolerando por ejemplo distintos valores de temperatura o un cierto grado de humedad. A nivel de la especie, existen diversas respuestas comportamentales y funcionales que ayudan a la especie a repoblar una zona perturbada o a hacer frente a los cambios ambientales. Además, la reserva paisajística de las especies disponibles (p. ej., Tylanakis *et al.*, 2008) y la conectividad del paisaje quedan reflejadas con bastante exactitud en los procesos de ensamblado ecosistémico. En la esfera del paisaje, la heterogeneidad de los bosquetes puede proporcionar una medida de la redundancia de las especies y constituir una fuente de colonizadores que, a medida que el bosque se vuelve a desarrollar o se recupera tras el episodio de perturbación, podría permitir a las



Bosque de frondosas compuesto principalmente de chopo temblón en el bosque boreal del Canadá septentrional. Los bosques pueden no ser especialmente resistentes a ciertas perturbaciones a las cuales sí son resilientes

EVAA YANCHUK

**Bosque degradado de enebro
(*Juniperus thurifera*) en el
Alto Atlas (Marruecos)**

comunidades converger en los tipos de bosque original. De ahí que el concepto de resiliencia implique necesariamente un razonamiento que procede de la escala de lo pequeño a la de lo extenso.

**Pérdida de resiliencia y
degradación forestal**

El estado del ecosistema se define de acuerdo con la composición florística (arbórea) dominante y la estructura esperada de un determinado rodal. El cambio en el estado del bosque resulta de la pérdida de resiliencia y se caracteriza por una modificación parcial o total que da origen a un tipo de ecosistema diferente del que se habría esperado para la zona. Los cambios de situación se traducen en una reducción de la producción de bienes y servicios. Por lo tanto, el «cambio en el estado del ecosistema» puede servir como indicador de degradación. Por ejemplo, si el bosque que se esperaba fuese una zona de especies mezcladas resulta dominado por unas pocas especies, o si en lugar de ser un bosque de cubierta de copas densa es en realidad un terreno forestal abierto o una sabana, se puede afirmar que el estado del bosque ha cambiado. Desde una perspectiva de la biodiversidad y de la producción, se trataría pues de cambios negativos que por lo general afectarían a la cuantía de los bienes y servicios disponibles.

Con frecuencia, la degradación de los bosques es el resultado de la aplicación de malas técnicas de aprovechamiento durante un determinado período. Sin embargo, la degradación forestal también obedece a razones distintas de la extracción maderera. Por ejemplo, los bosques pueden en apariencia estar intactos pero carecer de la mayor parte de las especies animales grandes, porque estas han sido aniquiladas por la caza abusiva (p. ej., Redford, 1992). En consecuencia, a largo plazo se observarán repercusiones adversas para la salud de los bosques que se deben al aumento de la herbivoría causada por insectos ya que el control que ejercían los depredadores ha faltado, o porque la diseminación de semillas, función antes realizada por animales que ahora ya no están presentes, se ha reducido.



STIRNER V. D. OVA

Otro ejemplo de degradación puede ser el establecimiento de especies invasivas que han terminado prevaleciendo sobre las nativas, con la consiguiente merma de los bienes producidos por el ecosistema.

En todos los casos descritos más arriba, y cuando la gravedad de la alteración ha sido suficiente para determinar un cambio de estado, el alcance de la degradación del bosque puede medirse por telepercepción. Souza *et al.* (2003) cartografiaron mediante datos satelitales un bosque amazónico brasileño que había sufrido quemadas excesivas o que había sido intensamente explotado y quemado; y Strand *et al.* (2007) informaron de varios casos en que se ha recurrido a la telepercepción para hacer el seguimiento de bosques que se han visto afectados por especies arbóreas invasivas e insectos provenientes de diversas partes del mundo.

PUNTOS DE INFLEXIÓN

Los bosques no siempre suelen recuperarse tras los episodios de perturbación grave y prolongada. Existen umbrales de recuperación para las poblaciones de las distintas especies y para los procesos que tienen lugar dentro de los ecosistemas, y en último término para los propios ecosistemas. El punto en el cual el ecosistema pierde su capacidad de recuperación o su resiliencia e integridad se denomina *punto de inflexión o umbral ecológico*. Si la perturbación es demasiado intensa, esta da origen a una cascada de efectos que generan cambios marcados en el ecosistema forestal, los cuales determinan finalmente el paso del bosque a un nuevo

estado. Por ejemplo, una sequía grave o un incendio pueden convertir un monte xerofítico en sabana o incluso en pastizal. Muy a menudo, con el nuevo estado la provisión de productos y servicios para el ser humano podrá verse mermada.

A los puntos de inflexión se puede llegar rápidamente o de resultados de un cambio crónico que consume la capacidad de recuperación del ecosistema, como sucede cuando las especies se agotan gradualmente. Por ejemplo, la fragmentación forestal es un proceso en virtud del cual el bosque continuo termina abriéndose debido a las múltiples perturbaciones que lo han afectado. Un bosque puede fácilmente tolerar un cierto grado de pérdida de continuidad y seguir manteniendo sus especies y funciones; pero los estudios han indicado que determinados niveles de fragmentación son en realidad puntos de inflexión que conllevan pérdidas de biodiversidad forestal y de funcionalidad y una menor capacidad de producción de bienes y servicios (p. ej., Andrén, 1994; Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2007).

Los ecosistemas pueden ser utilizados y explotados para la obtención de servicios, pero los servicios no deben exceder los niveles de sostenibilidad; y tampoco es posible extraer bienes de manera tal que el proceso ecosistémico termine destruyéndose (véase la figura). Una vez alcanzado el punto de inflexión, los cambios en el ecosistema son considerables y no lineales, y su naturaleza es con frecuencia impredecible y drástica (p. ej., Scheffer y Carpenter, 2003). Por ejemplo, algunas regiones del norte de África



Montes del Himalaya oriental (India).
La biodiversidad es el sostén de la resiliencia del bosque y representa una consideración clave para los responsables de la gestión forestal

A medida que cambia el clima mundial, los ecosistemas forestales se modifican porque los niveles de tolerancia fisiológica de algunas especies pueden haberse superado y el ritmo de muchos procesos biofísicos forestales puede alterarse (p. ej., Scholze *et al.*, 2006). La mayoría de los estudios indica que si prosiguen las tendencias actuales y pronosticadas, que apuntan a una escasez de precipitaciones y al aumento de las sequías, muchos bosques tropicales podrían dejar de presentar resiliencia al cambio climático a largo plazo (p. ej., Betts *et al.*, 2008; Malhi *et al.*, 2008).

Los ecosistemas forestales se componen de distintos gremios de especies. A través de las regiones, las zonas de distribución de cada una de ellas reflejan los nichos fisiológicos y ecológicos que les son inherentes; y los nichos, a su vez, los lugares en los que las condiciones ambientales son más favorables. Las especies dotadas de un amplio abanico de tolerancias fisiológicas pueden ser muy resilientes incluso a un cambio climático mundial importante. Asimismo, si las condiciones cambiantes las aventajaran respecto a sus competidoras, las especies que tienen nichos aparentemente estrechos podrían ser más resilientes de lo que pudieran ser en apariencia. En cualquiera de ambas situaciones posibles, esta capacidad correspondería a las especies que disponen de bancos de genes suficientemente amplios y variables que les permitan adaptarse o migrar. Sin embargo, para muchas esto no es el caso. En las zonas donde el tamaño de la población y/o la diversidad genética se han reducido, o donde la movilidad de las especies se ha restringido a causa de la pérdida del hábitat y la fragmentación, o es naturalmente baja, la adaptación idónea y autónoma de las especies a los cambios ambientales resulta menos probable. Las especies podrían estar condenadas a la extinción si se vieran expuestas a un cambio ambiental cuyo ritmo supera al de la adaptabilidad, o al de la dispersión de los individuos (p. ej., Schwartz *et al.*, 2006).

experimentaron un cambio más bien espectacular cuando, a consecuencia de los cambios climáticos pasados, el monte xerófito se transformó en desierto (Kröpelin *et al.*, 2008). Por desgracia, un punto de inflexión solo se suele detectar después de que ha sido alcanzado, y cuando sus repercusiones en el ecosistema, generalmente negativas, ya son evidentes. Por ello, para ordenar un bosque de forma sostenible es preciso aprender a reconocer los puntos de inflexión con anticipación.

Examen del cambio climático

A las muchas otras causas humanas de los impactos padecidos por el ecosistema se superpone el cambio climático mundial, que añade incertidumbre al reconocimiento de los puntos de inflexión. El clima ejerce una influencia determinante en las tasas de respiración, en la producción y en otros procesos, y su efecto se manifiesta por conducto de la temperatura, el forzamiento radiativo (incremento de la energía que queda en la atmósfera) y los regímenes de humedad a lo largo de períodos medianos y prolongados. El clima y las condiciones atmosféricas también influyen directamente en los procesos forestales de breve término, tales como los incendios, la herbivoría y la migración de especies.

Las negociaciones sobre el cambio climático relativas a los bosques han versado principalmente sobre cómo llevar a cabo las actuaciones de ordenación destinadas a mitigar los efectos de dicho cambio. Menos atención se ha prestado a la adaptación. La adaptación de los bosques al cambio climático consiste sobre todo en el mantenimiento de la resiliencia forestal aun si el tipo de ecosistema debiese variar. Si los ecosistemas se modifican realmente, será preciso entender qué respuesta dar, por medio de la ordenación forestal, a las modificaciones ocurridas. En la mayor parte de los casos, habrá que recurrir a medidas específicas que permitan la adaptación del bosque al cambio climático. Un mecanismo importante, tanto para mitigar los efectos climáticos como para adaptar el bosque al cambio climático, puede ser el mantenimiento de la resiliencia forestal.

ORDENAR EL BOSQUE PARA EVITAR LOS PUNTOS DE INFLEXIÓN

La ordenación forestal sostenible consiste en una ordenación ecosistémica, la cual en buena parte tiene por objetivo subyacente la continuidad de la resiliencia natural. Una de las funciones esenciales del gestor forestal es ayudar al bosque a recuperarse tras la extracción de la madera u otros productos gracias al mantenimiento las propiedades del ecosistema en el tiempo. En los últimos años, esta tarea se ha complicado a causa de los factores de estrés adicionales que el cambio climático ejerce en los ecosistemas terrestres. Si bien una adecuada ordenación forestal sostenible, biológicamente racional, es un elemento fundamental del mantenimiento de la resiliencia, la respuesta al cambio climático requiere la realización de planes e intervenciones suplementarios. Si logramos un mejor entendimiento de los ecosistemas y sabemos predecir con exactitud en qué nivel del aprovechamiento se tocan los umbrales de inflexión, la gestión de los bienes y servicios forestales podría ser de índole más benigna.

Mantenimiento de la biodiversidad

El mantenimiento de la biodiversidad es el elemento clave para salvaguardar la resiliencia forestal y evitar los puntos de inflexión. La diversidad biológica del

bosque es el vínculo y sostén de la productividad, resiliencia y resistencia, y de la estabilidad del ecosistema a lo largo del tiempo y en el espacio. La merma de la biodiversidad de los sistemas forestales tiene implicaciones claras y a menudo adversas en el funcionamiento de dichos sistemas y en la cuantía de los bienes y servicios que pueden producir.

Del entendimiento de la forma en que la biodiversidad respalda la resiliencia y resistencia local del bosque es posible derivar indicaciones importantes sobre cómo mejorar la ordenación forestal. Por ejemplo, mientras es relativamente sencillo plantar árboles y realizar una producción maderera de ciclo corto, resulta mucho más difícil llevar a cabo la recuperación de un ecosistema forestal. La carencia de diversidad de las plantaciones forestales simples a todos los niveles (genecológico, de especies de flora y fauna y del paisaje) reduce la resiliencia y resistencia de estas a las perturbaciones, menoscaba la provisión de servicios y de muchos bienes, y expone el sistema a perturbaciones catastróficas. Mediante la aplicación de los principios de la ordenación ecológica, las plantaciones forestales pueden proporcionar más que simplemente madera, y los ecosistemas pueden ser restaurados al tiempo que mejora la capacidad productiva del bosque para un producto seleccionado (p. ej., Parrotta y Knowles, 1999; Brockerhoff *et al.*, 2008).

Entendimiento de los umbrales

Los ecosistemas forestales cambian continuamente en respuesta a las presiones ambientales de corto y breve período, lo que da origen a una varianza ecosistémica inherente a lo largo del tiempo. En consecuencia, los indicadores de función, tales como la producción de bienes y servicios, también fluctúan en el tiempo. Por ende, los umbrales se deben concebir como una gama de valores que permiten tener en cuenta tanto esta fluctuación como la incertidumbre estadística que se asocia con el insuficiente entendimiento del funcionamiento del ecosistema. Para evitar la degradación del ecosistema forestal, los gestores deberán entender los aspectos básicos de la relación entre biodiversidad local y productividad y el grado de perturbación que el ecosistema en cuestión es capaz de tolerar.

Acciones recomendadas

Puesto que los bosques cambian tras la explotación maderera o un ataque de insectos, o a causa de las alteraciones climáticas o los fenómenos climáticos extremos, debe ser preocupación de los gestores devolver el bosque a una situación en la que este podrá suministrar los bienes y servicios que se deseaba obtener de él. Un aspecto clave de todo plan destinado a mantener un flujo de bienes y servicios es la comprensión de la ecología forestal local, la cual ha de ser la base de la ordenación sostenible, y la manera en que el bosque podría modificarse en respuesta a los cambios del clima. Las siguientes acciones recomendadas se han elaborado con arreglo a principios destinados a mantener e intensificar la resiliencia forestal a largo plazo, y en especial a favorecer la adaptación del bosque al cambio climático:

1. Elaborar planes con antelación para mantener la biodiversidad en todas las escalas (rodal, paisaje, región) y para todos los elementos forestales (genes, especies, comunidades) sobre la base del entendimiento de los umbrales y de las futuras condiciones climáticas esperadas. Esto significa que las intervenciones se deben fundar en principios ecológicos y en el conocimiento de expertos, con el objeto de conservar la biodiversidad durante y después de la explotación forestal.
2. Mantener la diversidad genética en los bosques mediante prácticas de ordenación que no consistan en seleccionar tan sólo algunos árboles que se explotan en función del tipo de sitio, de su tasa de crecimiento o de la superioridad de su forma.
3. No reducir las poblaciones de ninguna de las especies arbóreas que conforman el paisaje a un nivel tal que la autorreposición resulte imposible.
4. Mantener la complejidad estructural de los rodales y paisajes utilizando los bosques naturales como modelos y puntos de referencia. Al ordenar los bosques, los gestores deberán procurar emular los procesos y la composición de los rodales naturales en cuanto a composición de especies y estructura, aplicando con este fin métodos silvícolas adecuados a los principales tipos de perturbación natural.
5. Mantener la conectividad a través de los paisajes forestales reduciendo la fragmentación, recuperando los hábitats perdidos (tipos de bosque) y expandiendo las redes de áreas protegidas. Los bosques intactos son más resilientes a las perturbaciones, incluido el cambio climático, que los bosques fragmentados.
6. Mantener la diversidad funcional (y la redundancia de especies) y limitar al mínimo la conversión de los distintos bosques naturales en plantaciones monotípicas o compuestas de un reducido número de especies.
7. Disminuir la competencia no natural mediante el control de las especies invasivas (y de las vías de entrada), y reducir la dependencia de las especies arbóreas de cultivo no nativas destinadas a la plantación, forestación o reforestación.
8. Reducir la posibilidad de que las actividades forestales produzcan resultados negativos asignando algunas áreas a la regeneración asistida de árboles de procedencias y zonas climáticas de una misma región cuyas características se aproximen a las condiciones esperadas futuras. Por ejemplo, en las zonas que de acuerdo con los pronósticos puedan convertirse en zonas más secas convendrá también plantar especies de árboles o individuos de procedencias más resistentes a la sequía que las especies y procedencias locales, tomando en consideración en especial las especies regionales.
9. Proteger como posibles hábitats futuros de origen a las poblaciones de especies aisladas o disjuntas, tales como las que viven en los márgenes de su zona de distribución natural. Estas poblaciones podrían constituir un acervo génico preadaptado capaz de responder al cambio climático y podrían formar una población testigo amoldada a los cambios de las condiciones climáticas.
10. Asegurar que existan redes nacionales y regionales representativas de las áreas protegidas globales, y que estas hayan sido establecidas con arreglo a principios científicos fiables. Incorporar dichas redes en los proyectos de planificación nacional y regional con vistas a

lograr una conectividad paisajística de amplio alcance.

11. Elaborar un plan eficaz de seguimiento que proporcione datos sobre las perturbaciones naturales, las condiciones climáticas y las consecuencias de las intervenciones silvícolas y de ordenación forestal posteriores a la explotación. Adaptar los planes futuros y las prácticas de aplicación según sea necesario.

La capacidad de conservar, aprovechar de modo sostenible y restaurar los bosques depende de nuestro entendimiento e interpretación de las pautas y procesos forestales en sus diversas escalas; de nuestra capacidad para reconocer la presencia de los umbrales ecosistémicos, y de la aptitud para traducir los conocimientos en acciones apropiadas de una ordenación forestal adaptativa. ♦



Bibliografía

- Andrén, H.** 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. *Oikos*, 71(3): 355–366. DOI: 10.2307/3545823.
- Arroyo-Rodríguez, V., Aguirre, A., Benítez-Malvido, J. y Mandujano, S.** 2007. Impact of rain forest fragmentation on the population size of a structurally important palm species: *Astrocaryum mexicanum* at Los Tuxtlas, Mexico. *Biological Conservation*, 138(1–2): 198–206. DOI: 10.1016/j.biocon.2007.04.016.
- Betts, R., Sanderson, M. y Woodward, S.** 2008. Effects of large-scale Amazon forest degradation on climate and air quality through fluxes of carbon dioxide, water, energy, mineral dust and isoprene. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363: 1873–1880. DOI: 10.1098/rstb.2007.0027.
- Bridgeland, W.T., Beier, P., Kolb, T. y Whitham, T.G.** 2010. A conditional trophic cascade: birds benefit faster growing trees with strong links between predators and plants. *Ecology*, 91: 73–84. DOI: 10.1890/08-1821.1.
- Brockhoff, E.G., Jactel, H., Parrotta, J.A., Quine, C.P. y Sayer, J.** 2008. Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation*, 17(5): 925–951. DOI: 10.1007/s10531-008-9380-x.
- Cardinale, B.J., Matulich, K.L., Hooper, D.U., Byrnes, J.E., Duffy, E., Gamfeldt, L., Balvanera, P., O'Connor, M.I. y Gonzalez, A.** 2011. The functional role of producer diversity in ecosystems. *American Journal of Botany*, 98(3): 572–592. DOI: 10.3732/ajb.1000364.
- Díaz, S. y Cabido, M.** 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, 16(11): 646–655. DOI: 10.1016/S0169-5347(01)02283-2.
- FAO.** 2009. *Hacia una definición de degradación de los bosques: análisis comparativo de las definiciones existentes*. Documento de trabajo Evaluación de los Recursos Forestales 154 (también disponible en: ftp.fao.org/docrep/fao/012/k6217s/k6217s00.pdf).
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L. y Holling, C.S.** 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35: 557–581. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711.
- Gunderson, L.H.** 2000. Ecological resilience: in theory and application. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 31: 425–439. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.31.1.425.
- Kröpelin, S., Verschuren, D., Lézine, A.-M., Eggermont, H., Cocquyt, C., Francus, P., Cazet, J.-P., Fagot, M., Rumes, B., Russell, J.M., Darius, F., Conley, D.J., Schuster, M., von Suchodoletz, H. y Engstrom, D. R.** 2008. Climate-driven ecosystem succession in the Sahara: the past 6000 years. *Science*: 320(5877): 765–768. DOI: 10.1126/science.1154913.
- Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Kileen, T.J., Li, W. y Nobre, C.A.** 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5680): 169–172. DOI: 10.1126/science.1146961.
- Montreal Process [Proceso de Montreal].** 2009. *Criteria and indicators for the conservation and sustainable management of temperate and boreal forests*, 4ª edición. Disponible en: www.rinya.maff.go.jp/mpci/2009p_4.pdf
- Parrotta, J.A. y Knowles, O.H.** 1999. Restoration of tropical moist forest on bauxite-mined lands in the Brazilian Amazon. *Restoration Ecology*, 7(2): 103–116. DOI: 10.1046/j.1526-100X.1999.72001.x.
- Redford, K.H.** 1992. The empty forest. *BioScience*, 42(6): 412–422. DOI: 10.2307/1311860.
- Scholze, M., Knorr, W., Arnell, N.W. y Prentice, L.C.** 2006. A climate-change risk analysis for world ecosystems. *Proc. National Acad. Sciences*, 103: 13116–13120.
- Scheffer, M. y Carpenter, S.R.** 2003. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *Trends in Ecology and Evolution*, 18(12): 648–656. DOI: 10.1016/j.tree.2003.09.002.
- Schwartz, M.W., Iverson, L.R., Prasad, A.M., Matthews, S.N. y O'Connor, R.J.** 2006. Predicting extinctions as a result of climate change. *Ecology*, 87(7): 1611–1615. DOI: 10.1890/0012-9658(2006)87[1611:PEAARO]2.0.CO;2.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica.** 2010. *Global Biodiversity Outlook 3*. Montreal, Canadá. Disponible en: www.cbd.int/gbo3.
- Souza, C. Jr., Firestone, L., Silva, L.M. y Roberts, D.** 2003. Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT4 through spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*, 87(4): 494–506. DOI: 10.1016/j.rse.2002.08.002.
- Strand, H., Höft, R., Strittholt, J., Miles, L., Horning, N., Fosnight, E., y Turner, W., eds.** 2007. *Sourcebook on remote sensing and biodiversity indicators*. Technical Series No. 32. Montreal, Canadá, Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S. y Mosseler, A.** 2009. *Forest resilience, biodiversity, and climate change: a synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems*. Technical Series No. 43. Montreal, Canadá, Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- Tylianakis, J.M., Rand, T.A., Kahmen, A., Klein, A.-M., Buchmann, N., Perner, J. y Tschardtke, T.** 2008. Resource heterogeneity moderates the biodiversity-function relationship in real world ecosystems. *PLoS Biology*, 6(5): e122. DOI: 10.1371/journal.pbio.0060122. ♦