

La Biodiversidad Y El Funcionamiento De Los Ecosistemas: Manteniendo Los Procesos Naturales Que Sustentan La Vida



La Biodiversidad Y El Funcionamiento De Los Ecosistemas: Manteniendo Los Procesos Naturales Que Sustentan La Vida

TITULO ORIGINAL

Biodiversity and Ecosystem Functioning: Maintaining Natural Life Support Processes

RESUMEN

Procesos críticos a nivel del ecosistema tienen influencia en la productividad de plantas, fertilidad del suelo, calidad del agua, química atmosférica, y muchas otras condiciones ambientales globales, que finalmente afectan el bienestar humano. Estos procesos ecosistémicos son controlados, tanto por la biodiversidad, como por la identidad de las especies de plantas, animales y microbios dentro de una comunidad. Las modificaciones humanas a la comunidad viviente dentro de un ecosistema – así como a la biodiversidad global de la tierra – pueden entonces alterar las funciones ecológicas y los servicios que sustentan la vida, los cuales son vitales para el bienestar de las sociedades humanas. Cambios sustanciales han ocurrido ya, especialmente pérdidas locales y globales de la biodiversidad. La causa principal ha sido la transformación generalizada que los humanos han realizado de los que alguna vez fueron ecosistemas naturales altamente diversos, hacia ecosistemas manejados con relativamente pocas especies. Estudios recientes sugieren, que tales reducciones en la biodiversidad pueden alterar tanto la magnitud, como la estabilidad de los procesos ecosistémicos, especialmente cuando la biodiversidad se reduce a los niveles bajos típicos de muchos sistemas manejados.

Nuestra revisión de la evidencia disponible, ha identificado las siguientes certezas concernientes a la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas:

- Los impactos humanos en la biodiversidad global han sido dramáticos, resultando en pérdidas sin precedente en la biodiversidad global en todos los niveles, desde genes y especies hasta ecosistemas enteros.
- Las disminuciones locales de la biodiversidad, son aun más dramáticas que las disminuciones globales, y el efecto benéfico de muchos organismos en procesos locales, se pierden mucho antes de que las especies se extingan globalmente.
- Muchos de los procesos ecosistémicos son sensibles a la pérdida de la biodiversidad.
- Los cambios en la identidad y abundancia de las especies en un ecosistema pueden ser tan importantes como los cambios en la biodiversidad al afectar los procesos ecosistémicos.

A partir de las investigaciones actuales, hemos identificado los siguientes impactos en el funcionamiento de los ecosistemas que comúnmente resultan de la pérdida de la biodiversidad:

- La producción de plantas puede disminuir conforme la diversidad regional y local disminuye.
- La resistencia de los ecosistemas a perturbaciones ambientales, como la sequía, puede ser aminorada conforme la biodiversidad disminuye.
- Conforme la diversidad disminuye, procesos ecosistémicos como los niveles de nitrógeno en el suelo, uso del agua, productividad de plantas, y ciclos de plagas y enfermedades pueden hacerse más variables.

Dada su importancia para el bienestar humano, el mantenimiento del funcionamiento de los ecosistemas, debe ser incluido como una parte integral de políticas nacionales e internacionales, diseñadas para conservar la biodiversidad local y global.

Créditos de las fotos de la portada en sentido de las manecillas del reloj e iniciando desde el extremo superior izquierdo: Jack Dykinga USDA/ARS, Scott Bauer USDA/ARS, USDA, Kevin Fitzsimmons/University of Arizona Acuicultura, foto de archivo, Nadine Lymn.

La Biodiversidad Y El Funcionamiento De Los Ecosistemas: Manteniendo Los Procesos Naturales Que Sustentan La Vida

por

Shahid Naeem, Chair, F.S. Chapin III, Robert Costanza, Paul R. Ehrlich, Frank B. Golley, David U. Hooper, J.H. Lawton, Robert V. O'Neill, Harold A. Mooney, Osvaldo E. Sala, Amy J. Symstad, y David Tilman

INTRODUCCIÓN

Una de las características más sorprendentes de la biota de la tierra es su extraordinaria diversidad, que se estima incluye alrededor de 10 millones de especies diferentes. Un aspecto sobresaliente del cambio global contemporáneo, es la rápida disminución de esta diversidad en muchos ecosistemas (Figura 1). La disminución no está limitada a las elevadas tasas de extinción de especies, sino también incluye pérdidas en la diversidad genética y funcional, a lo largo de escalas de poblaciones, comunidades, ecosistemas, paisajes y escalas globales (Figura 2). El término "biodiversidad", se refiere a todos estos aspectos de la diversidad biótica, de manera colectiva. La amplia y general reducción de la biodiversidad resulta principalmente de la modificación y destrucción de hábitat, de las elevadas tasas de invasión de especies no nativas introducidas de manera intencional o accidental, de la sobreexplotación y otros impactos antropogénicos.

A una escala global, aun considerando la menor tasa de extinción estimada actualmente, alrededor de

la mitad de todas las especies podrían extinguirse dentro de 100 años. Tal evento, sería similar en magnitud a los cinco eventos de extinción masiva registrados en los 3.5 billones de años de historia de la vida en la tierra. A escalas locales y regionales, pérdidas de biodiversidad son ya considerables en muchas áreas, especialmente cuando los ecosistemas naturales han sido convertidos a cultivos, silvicultura, acuicultura y otros ecosistemas manejados. La diversidad de estos ecosistemas manejados es frecuentemente baja y su composición de especies muy diferente, comparada con aquellos sistemas naturales que han sido reemplazados (Figura 3).

¿Cuales son las consecuencias de tales disminuciones en la biodiversidad y como pueden afectar el bienestar humano? Los organismos vivos de la tierra contribuyen al bienestar humano en una gran variedad de formas. En primer lugar, los humanos derivan de ellos bienes y productos esenciales para la vida, incluyendo comida, medicina, productos industriales, recursos genéticos para la propagación de cultivos, y servicios naturales para el control de plagas. Tales beneficios pueden ser vistos como los valores de mercado de la biodiversidad, ya que son rápidamente vinculados a

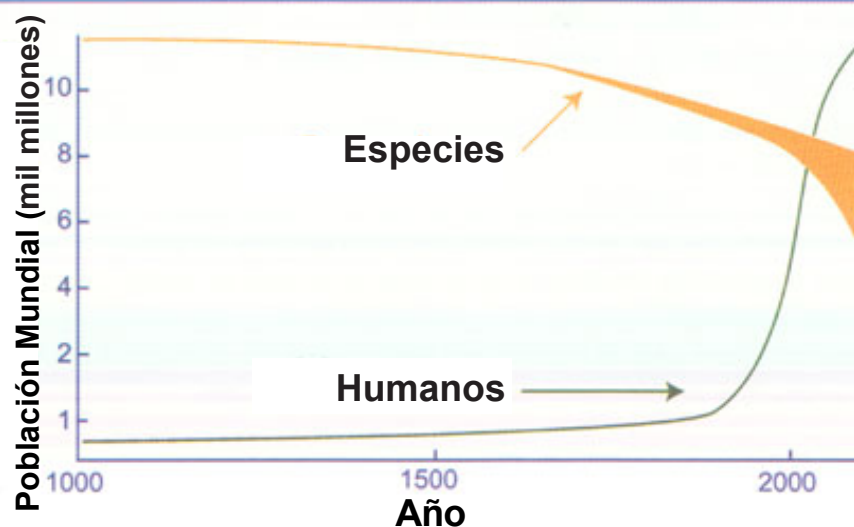


Figura 1. El decremento previsto de la biodiversidad en asociación con los incrementos en la población humana. Estimaciones para el 2100 de la pérdida global de la biodiversidad están entre el 50 y el 75%, pero en muchos hábitat transformados, como en cultivos, decrementos locales de similar magnitud han ocurrido ya. (De Soulé 1991, *Science*)

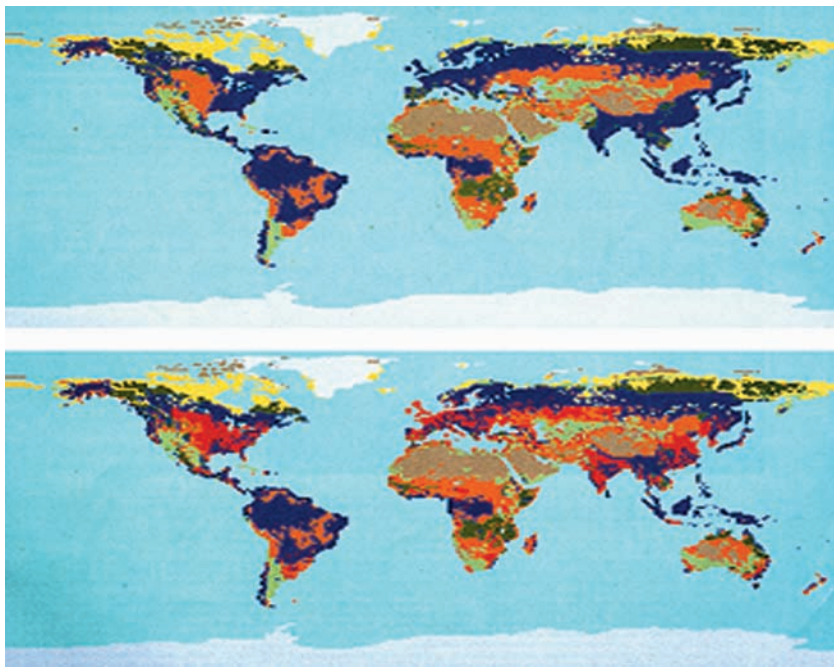


Figura 2. Pérdida de la biodiversidad y los biomas cambiantes de la tierra. El mapa superior muestra los biomas de la tierra más grandes, como pastizales en naranja y bosques en azul, antes de la introducción de la agricultura. El mapa inferior muestra la expansión agronómica y otros ecosistemas manejados en donde el rojo representa una región que tienen más del 50% de ecosistemas manejados (Modificado de Sisk et al. 1994, *BioScience*)

nuestra economía y frecuentemente se les puede asignar un valor en dólares en el mercado. En segundo lugar, la biodiversidad tiene valores no comerciales que se pueden expresar en términos como el conocimiento, la estética, valores de existencia y otros. Estos valores no comerciales de la biodiversidad son difíciles de cuantificar, pero son, para muchos, justificación suficiente para preservar la biodiversidad, independientemente de su valor en el mercado.

Una tercera categoría de valor, los servicios ecosistémicos, es el enfoque de este informe. Los organismos que viven, crecen, se reproducen e interactúan dentro de los ecosistemas ayudan a mediar local y regionalmente flujos de energía y materiales (Figura 4). Flujos de energía, se refieren a la captura de energía lumínica por la fotosíntesis de las plantas verdes o algas y su dispersión como energía química, a través de la cadena alimenticia a animales que se alimentan de plantas o algas, - depredadores y eventualmente los descomponedores. Los flujos de materiales involucran el reciclaje del carbono, nitrógeno, fósforo y otros elementos entre organismos vivos y el aire, agua y el suelo. Estos flujos de energía y materiales biológicamente mediados, contribuyen a muchos servicios ecológicos o los que sustentan la vida y que mejoran el bienestar humano, tales como la regulación de gases de invernadero, el tratamiento de agua, el control de la erosión, el control de la calidad del suelo, y el crecimiento de plantas. Los servicios ecosistémicos, pueden incluir también beneficios culturales, como los religiosos, estéticos, recreacionales, o valores

inspiracionales que los humanos obtienen de los ecosistemas.

Determinar cuando la biodiversidad es importante *per se*, para el funcionamiento de los ecosistemas ha sido difícil, en parte porque muchos de los factores, como conversión de hábitat, que reducen la diversidad local, también afectan directamente los procesos ecológicos, enmascarando los impactos más sutiles en el funcionamiento que resultan de la pérdida de las especies. Estudios recientes, sin embargo, han comenzado a generar claridad importante en el tema. Estos estudios han mostrado que los ecosistemas son ciertamente sensibles a cambios en los números y tipos de especies encontrados en sus comunidades. En este informe, presentamos una revisión del funcionamiento de los ecosistemas, de la distinción que existe entre biodiversidad taxonómica (p. ej. número de especies) y la diversidad funcional y evaluamos el estatus actual de investigaciones sobre las respuestas del ecosistema a cambios en la biodiversidad.

FUNCIONAMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS

El funcionamiento ecosistémico, refleja las actividades colectivas de plantas, animales y microbios y los efectos que estas actividades – alimentarse, crecer, moverse, excretar desechos, etc. – tienen en las condiciones físicas y químicas de su ambiente. (Cabe resaltar que “funcionamiento” significa “muestra de actividad” y no implica que los organismos realizan roles con un propósito en los procesos a nivel del

ecosistema). Un ecosistema funcionando, es aquel que exhibe actividades biológicas y químicas características de su tipo. Un ecosistema de bosque que funciona, por ejemplo, exhibe tasas de producción de plantas, almacenamiento de carbono, y ciclo de nutrientes que son característicos de la mayoría de los bosques. Si el bosque es convertido a un agroecosistema, su funcionamiento cambia.

Los ecólogos dividen las características esenciales de un ecosistema en dos compartimentos, el biótico y el abiótico. El compartimento biótico, consiste en una comunidad de especies, las cuales pueden ser divididas funcionalmente en plantas productoras, los consumidores que se alimentan de las productoras y entre ellos y los descomponedores (Figura 5). El compartimento abiótico, consiste de almacenamientos de nutrimentos orgánicos e inorgánicos. Energía y materiales se mueven entre estos dos compartimentos, así como hacia dentro y fuera del sistema. Los procesos ecosistémicos son cuantificados midiendo las tasas de estos movimientos (p. ej. producción de plantas, descomposición, lixiviación de nutrimentos y otras medidas de producción de materiales, transporte o pérdida). El funcionamiento de ecosistemas, como consecuencia, es cuantificado midiendo las magnitudes y dinámicas de los procesos ecosistémicos.

El funcionamiento de los ecosistemas resulta de las interacciones entre y dentro de los diferentes niveles de la biota, lo cual lo ecólogos describen como una jerarquía "anidada". Por ejemplo, la producción de plantas verdes en la tierra es el producto final de las interacciones entre las plantas individuales anidadas dentro de las poblaciones; interacciones entre

poblaciones anidadas dentro de una sola especie; interacciones entre una variedad de especies anidadas dentro de un grupo funcional de especies similares; y así sucesivamente hasta el nivel de las interacciones entre diferentes tipos de ecosistemas anidados dentro de paisajes.

BIODIVERSIDAD: ESPECIES, TIPOS FUNCIONALES Y COMPOSICIÓN

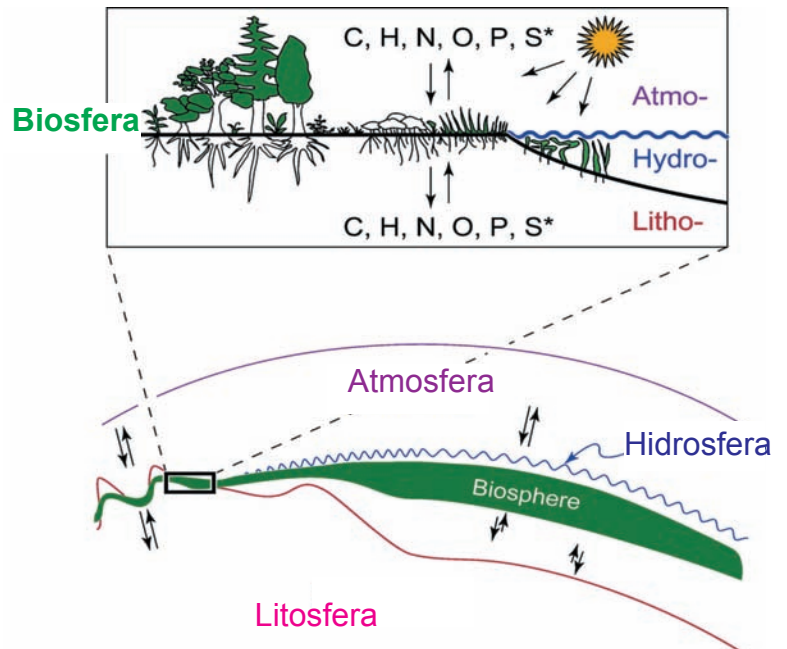
A pesar de que cada organismo contribuye a los procesos ecosistémicos, la naturaleza y magnitud de las contribuciones individuales pueden variar considerablemente. La investigación de la biodiversidad pone mucho énfasis a la unicidad de las especies individuales y su contribución singular a los servicios ecosistémicos. Sin embargo, la mayor parte de los procesos ecosistémicos están controlados por la combinación de actividades biológicas de muchas especies y por ello frecuentemente no es posible determinar las contribuciones relativas de especies individuales a estos procesos. Especies dentro de grupos, como mamíferos forrajeros, depredadores grandes, pastos perennes, o microbios fijadores de nitrógeno, pueden ser entonces funcionalmente similares a pesar de lo único de sus genes, historia de vida y otras características.

Grupos de especies que desempeñan roles similares en un proceso ecosistémico son conocidos como tipos funcionales o grupos funcionales. Las especies pueden ser también divididas en tipos funcionales basados en lo que ellos consumen o su estatus trófico (p. ej. su lugar en la cadena alimenticia



Figura 3. En los trópicos, selvas húmedas biológicamente muy diversas son reemplazadas por monocultivos de plátanos.

Figura 4. El papel de la biota de la tierra en los procesos biogeoquímicos. Abajo: Las capas biogeoquímicas más importantes consisten en la litosfera, hidrosfera, y atmósfera, en donde se encuentra la biosfera. Arriba: Porción magnificada de la biosfera mostrando su posición dentro de las tres capas biogeoquímicas importantes. Determinada principalmente por la energía solar, productores, descomponedores, y consumidores que anualmente mueven grandes cantidades de materiales que contienen muchos elementos y compuestos entre las diferentes capas. El rol de la enorme diversidad encontrada dentro de la biosfera se está comenzando recientemente a entender.



como productores, descomponedores o depredadores). Dentro de los grupos tróficos, las especies pueden ser a su vez divididas de acuerdo a su historia de vida, requerimientos de clima y nutrientes, fisiología u otras características biológicas. Los investigadores pueden colocar a las especies en varias y diferentes categorías funcionales dependiendo del proceso ecosistémico que ellos estén estudiando.

Debido a que la contribución de las especies al funcionamiento de los ecosistemas puede variar dramáticamente, es importante la composición específica o la identidad de las especies en una comunidad. El hecho de que algunas especies importen más que otras se torna especialmente claro en el caso de “las especies clave” o “ingenieros ecosistémicos” u organismos con altos “valores de importancia comunitarios”. Estos términos difieren en su uso, pero todos se refieren a especies cuya pérdida tiene un impacto desproporcionado en la comunidad cuando se compara con la pérdida de otras especies. Por ejemplo, una especie de árbol fijadora de nitrógeno, *Myrica faya*, introducida a las islas Hawaianas, ha tenido efectos a gran escala en el ciclo de nitrógeno, incrementando enormemente, donde este árbol invade, la cantidad de este nutriente esencial para las plantas. El lupino *Lupinus arboreus*, fijador de nitrógeno, también enriquece los suelos y como consecuencia estimula las invasiones de pastos maleza. Entre los animales,

el alce (*Alces alces*) a través de sus preferencias alimenticias, reduce considerablemente los niveles de nitrógeno en el suelo y también influye en la sucesión de árboles en el bosque. Los castores, también, a través de su alimentación y construcción de presas, no solamente alteran la fertilidad del suelo y la sucesión de bosques, sino incrementan la diversidad de ecosistemas en un paisaje. Aun las termitas juegan roles críticos en la fertilidad del suelo y otros procesos ecológicos en muchos pastizales áridos.

Por otro lado, existen algunos ejemplos donde la adición o pérdida de especies en particular han tenido poco efecto en procesos ecosistémicos.

RESPUESTAS ECOSISTÉMICAS A CAMBIOS EN LA BIODIVERSIDAD

Desde Darwin, biólogos prominentes han generado hipótesis sobre la relación entre biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Más recientemente, inquietudes sobre el aumento en la pérdida de biodiversidad y preguntas sobre la degradación resultante de los servicios ecosistémicos han estimulado estudios basados en la observación, teóricos y experimentales, sin precedente.

Estudios Basados En La Observación

Uno podría pensar que los estudios basados en la observación que comparan un tipo de ecosistema

con otro, o comparan ecosistemas similares en localidades diferentes, podrían proveer respuestas rápidas a preguntas sobre los impactos de la diversidad de especies, en los procesos ecosistémicos. Pero estos tipos de estudios tienen invariablemente problemas. Por ejemplo, un ecosistema como un bosque tropical o un humedal costero puede variar de un sitio a otro, no solo en el número y composición de especies, sino también condiciones físicas y químicas como el tipo de suelo, pendiente, precipitación, o niveles de nutrientes. La comparación de ecosistemas diferentes tiende a generar resultados poco claros porque las respuestas a la variación en la biodiversidad, no se pueden distinguir fácilmente de las respuestas causadas por variaciones en el ambiente y otros factores. Es posible, aunque difícil, controlar estadísticamente tales factores potencialmente confundidos.

Estudios Experimentales

Los estudios experimentales bien diseñados pueden minimizar los factores confundidos que abundan en los estudios descriptivos. Los experimentos pueden proveer ideas no solo sobre las relaciones entre biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas, sino también sobre los posibles mecanismos detrás de estas relaciones. Los estudios hasta ahora han variado, desde grandes experimentos llevados a cabo en el exterior y dentro de grandes infraestructuras

ambientales controladas, hasta experimentos en contenedores de tamaño modesto y pruebas en pequeños microcosmos de laboratorios (Figura 6). Estas investigaciones han intentado contestar dos preguntas diferentes acerca del vínculo entre biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Primera, ¿cómo son los niveles del funcionamiento de los ecosistemas afectados por los cambios en la biodiversidad, particularmente la riqueza de especies? Segunda, ¿cómo afectan los cambios en la biodiversidad a la dinámica del funcionamiento ecosistémico, particularmente la resiliencia y la estabilidad de los procesos? Las siguientes dos secciones revisan los resultados experimentales y teóricos que están ayudando a contestar estas preguntas.

Biodiversidad Y Niveles Del Funcionamiento De Los Ecosistemas

Resultados de muchos estudios experimentales recientes llevados a cabo en América del Norte y Europa, demuestran que la productividad de los ecosistemas se incrementa con la riqueza de las especies. Estos estudios varían desde grandes experimentos en el exterior, hasta experimentos en laboratorios controlados realizados en cámaras de crecimiento, invernaderos o pequeños contenedores. Experimentos en el exterior, como aquellos conducidos en pastizales o en suelos serpentinos bajos en nutrientes en Stanford, California, y en pastizales de pradera en el *Cedar Creek Natural*

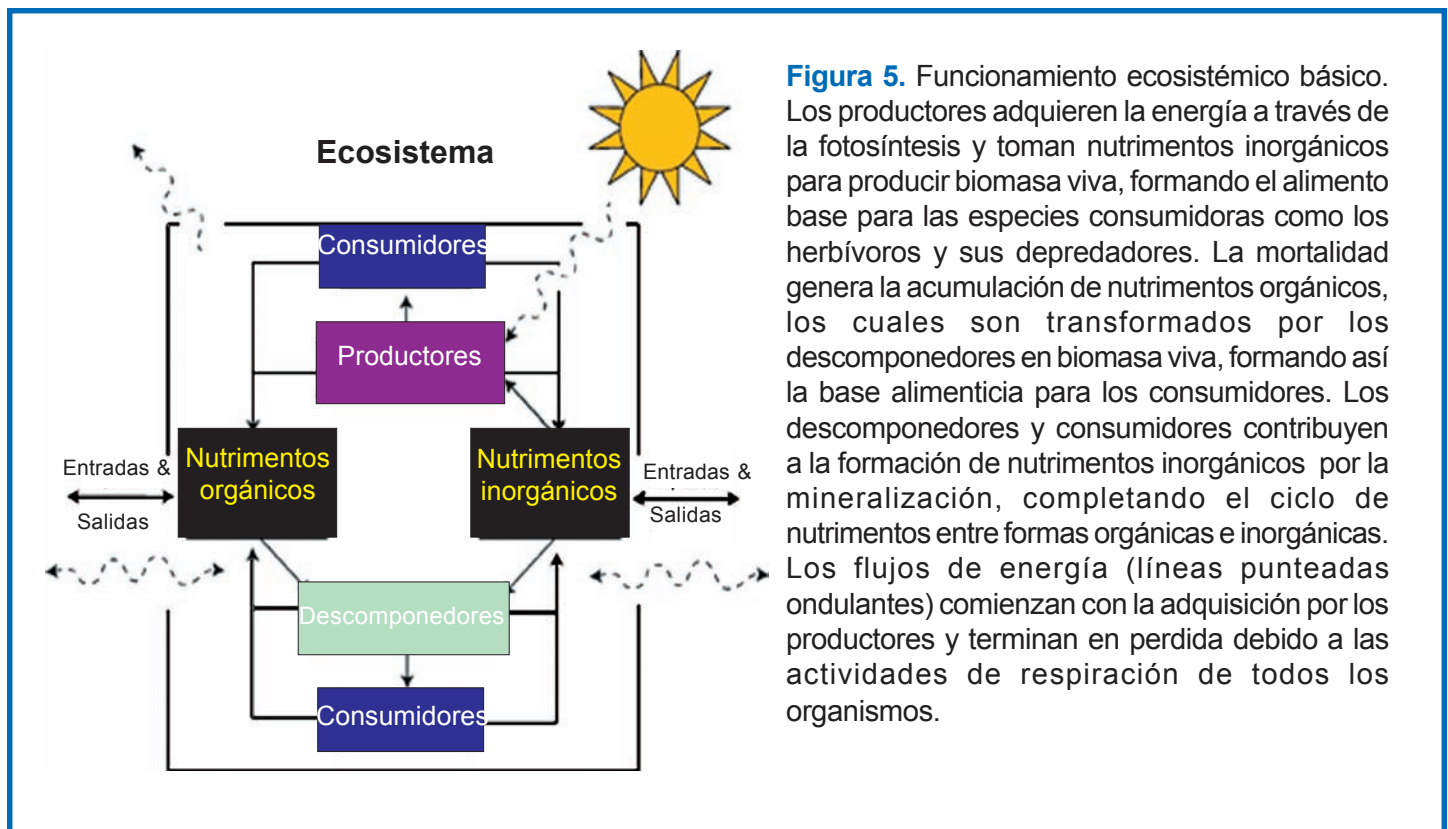


Figura 5. Funcionamiento ecosistémico básico.

Los productores adquieren la energía a través de la fotosíntesis y toman nutrientes inorgánicos para producir biomasa viva, formando el alimento base para las especies consumidoras como los herbívoros y sus depredadores. La mortalidad genera la acumulación de nutrientes orgánicos, los cuales son transformados por los descomponedores en biomasa viva, formando así la base alimenticia para los consumidores. Los descomponedores y consumidores contribuyen a la formación de nutrientes inorgánicos por la mineralización, completando el ciclo de nutrientes entre formas orgánicas e inorgánicas. Los flujos de energía (líneas punteadas ondulantes) comienzan con la adquisición por los productores y terminan en pérdida debido a las actividades de respiración de todos los organismos.

History Area en Minnesota (Figura 7), utilizan comunidades de plantas similares a aquellas encontradas en la naturaleza pero los investigadores modifican el número de especies de plantas de una parcela experimental a otra. Este enfoque es también usado en el experimento BIODDEPTH (Figura 8), en el cual siete países europeos han establecido parcelas en el campo que varían en la diversidad de plantas desde un bajo número de especies hasta el número promedio típicamente encontrado en cada sitio. Usando cámaras de crecimiento, se han llevado a cabo experimentos más precisos por investigadores en el *Imperial College of London, Silwood Park*, Inglaterra y el *Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive*, en Montpellier, Francia. Experimentos de laboratorio más recientes en Europa y America del Norte, han comenzado a examinar el impacto de otros componentes de la biodiversidad, como la diversidad de microorganismos del suelo, en la producción de plantas y el papel de bacterias, depredadores y herbívoros en comunidades microbianas de agua dulce.

Todos estos estudios, muestran que el funcionamiento de los ecosistemas decrece, conforme el número especies en una comunidad se reduce. El

declive en el funcionamiento, puede ser particularmente abrupto cuando el número de especies es bajo, como en la mayoría de los ecosistemas manejados, incluyendo cultivos o plantaciones de madera. Además, estudios experimentales recientes en pastizales, indican que los efectos de la biodiversidad en la producción, puede depender tanto en el número de grupos funcionales presente, como en la identidad de las especies de plantas (p. ej. en la composición de la comunidad). Otros estudios, han mostrado que la pérdida de grupos funcionales de una cadena alimenticia, o reducciones en el número de especies por grupo trófico (productores, consumidores, descomponedores) puede también causar una reducción en la función del ecosistema. Finalmente, otro estudio ha mostrado que algunas especies de plantas, pueden ser más o menos productivas o no mostrar respuesta alguna a los cambios en la diversidad de sus comunidades, aun cuando la productividad total de la comunidad es, en promedio, menor con menos diversidad.

Los estudios en plantas, han sido particularmente reveladores y fortalecen los resultados de recientes modelos teóricos, los cuales predicen que



Figura 6. Estudios experimentales de la relación entre biodiversidad y funcionamiento ecosistémico. Los experimentos varían considerablemente en tamaño y métodos. Todos han mostrado que pérdidas en la biodiversidad, generan un decremento en el funcionamiento ecosistémico. Iniciando arriba a la izquierda, en dirección de las manecillas del reloj, un investigador examinando el crecimiento de ensamblajes de plantas en contenedores, vegetación Mediterránea transplantada a invernaderos, modelos ecosistémicos consistentes en plantas y pequeños invertebrados en una cámara de crecimiento, experimento de campo en Suiza, microcosmos microbiano en una cámara de crecimiento, y un experimento de campo en Inglaterra. (Fotos iniciando arriba a la izquierda, en dirección de las manecillas del reloj: S. Naeem, J.Roy, Center for Population Biology, A. Bajpai, A.Hector.)



Figura 7. Una vista aérea de las parcelas de pastizales experimentales en *Cedar Creek*, Minnessota. Dos experimentos pueden apreciarse en esta fotografía. En la parte frontal puede verse una serie de 147 parcelas pequeñas que varían desde monocultivos hasta parcelas que contienen 24 especies de plantas. El área más grande en el centro está ocupada por 342 parcelas las cuales varían desde monocultivos hasta 32 especies de plantas de pastizal de pradera. Estas parcelas fueron establecidas en 1993. Foto por David Tilman.

un decremento en la diversidad de plantas, conlleva a una menor productividad de las mismas. Estos modelos predicen que la diversidad y la composición, son aproximadamente similares en importancia como determinantes del funcionamiento de los ecosistemas. Se han identificado dos posibles mecanismos para explicar el porqué los niveles del funcionamiento de los ecosistemas se incrementan conforme se aumenta la biodiversidad. El primero es el “efecto de muestreo”: Cuando el conjunto de especies disponible en una región contiene especies individuales que varían en productividad y otras contribuciones al funcionamiento del ecosistema, entonces los ecosistemas ricos en especies tienen una mayor probabilidad de contener especies con altos niveles de funcionamiento. El segundo es el “efecto de complementariedad”: Este ocurre cuando una mayor diversidad resulta en incremento en el número de especies que son complementarias, en lugar de ser competitivas en su uso de recursos, explotando nichos diferentes, como la profundidad de las raíces, y permitiendo ser más efectivos en uso de los recursos disponibles.

Biodiversidad Y La Estabilidad, Predictibilidad Y Confiabilidad De Los Ecosistemas

Se han intentado pocos estudios experimentales del impacto de la biodiversidad en la estabilidad, principalmente porque la estabilidad es un atributo de largo plazo de un sistema y probarlo requiere ya sea de experimentos de largo plazo o experimentos

con organismos de vida corta. En el único estudio ecológico de campo disponible, sin embargo, las reducciones en la riqueza de especies de plantas también disminuyeron la resistencia de la producción del pastizal a la sequía. La predictibilidad —menores fluctuaciones año con año en la productividad de la comunidad— fue también significativamente menor conforme la diversidad disminuye. Asimismo, estudios de comunidades de microbios en cámaras experimentales pequeñas, han también mostrado que las fluctuaciones en las funciones de los ecosistemas, como productividad pueden también ser mayores cuando la riqueza de especies se reduce. Por ello, la pérdida de diversidad causa una pérdida de la estabilidad de los ecosistemas (Figura 9).

Varios mecanismos pueden explicar estos resultados. Un mecanismo se basa en la habilidad de especies competidoras de reemplazarse o compensarse mutuamente y con ello minimizar, a mayor diversidad, las altas y bajas en el funcionamiento. Otro mecanismo es el “efecto portafolio”, una teoría que sugiere que las propiedades que se acumulan, como el funcionamiento de los ecosistemas, muestran menores fluctuaciones severas en sistemas con muchas especies, asemejando los portafolios de inversión de acciones diversas, que tienen menor variación a largo plazo comparado con portafolios de una o pocos tipos de acciones.



Figura 8. Un experimento de biodiversidad, realizado en 8 países diferentes de sitios de pastizales Europeos, abarcando desde Suiza in el norte, hasta Portugal e Irlanda en el oeste, y Grecia en sur y este, ha encontrado que mayor diversidad de plantas genera mayor productividad de la comunidad de plantas. Los resultados de estos estudios tienden a ser similares a estudios anteriores, que sugieren que la pérdida de la biodiversidad generará un decremento en la productividad de las comunidades de plantas.

Foto cortesía del Center for Population Biology, Imperial Collage of London, Reino Unido.

Resumen

Tres conclusiones surgen de esta área de investigación en crecimiento. El primero indica que la disminución de la riqueza de especies puede generar un decremento general en los niveles de funcionamiento de los ecosistemas. Este patrón es especialmente abrupto a bajos niveles de diversidad. Este hallazgo es particularmente relevante para los cambios ecológicos actuales, ya que la mayor parte de los ecosistemas están siendo transformados hacia sistemas manejados, los cuales típicamente contienen sólo unas cuantas especies dominantes, mientras que los ecosistemas naturales que reemplazaron contienen típicamente de decenas a cientos de especies.

La segunda conclusión es que al menos una especie por grupo funcional es esencial para el funcionamiento de los ecosistemas. Tener más de una especie por grupo funcional puede o no alterar los niveles generales del funcionamiento ecosistémico, sin embargo si puede amortiguar la pérdida de este funcionamiento durante periodos de perturbación si las especies dentro de los grupos funcionales son capaces de remplazarse o compensarse mutuamente.

Una tercera conclusión es que la naturaleza de la respuesta de un ecosistema a la disminución de la biodiversidad depende de la composición de su

comunidad, o sea en cuales especies se pierden y cuales se mantienen. Sin embargo, las investigaciones hasta ahora no han identificado ninguna regla clara que nos permita predecir con anticipación los impactos de la pérdida de cualquier especie en particular en los procesos ecosistémicos.

A pesar de que estos tres hallazgos han sido repetidamente observados en una amplia variedad de experimentos, existe aun debate acerca de los mecanismos detrás de ellos. La investigación sobre el vínculo entre biodiversidad y funcionamiento ecosistémico es una nueva disciplina y aun existe mucho trabajo por hacer.

INVESTIGACIÓN FUTURA

Las investigaciones hasta la fecha sostienen energicamente la idea de que el funcionamiento de los ecosistemas es sensible a cambios en las identidades de las especies locales, la composición de la comunidad y la diversidad. Aun cuando son limitados en su alcance, los estudios actuales han demostrado que la producción de plantas, el uso de nutrimentos, la lixiviación de nutrimentos, la fertilidad del suelo, y la predictibilidad y estabilidad de los procesos ecosistémicos pueden abatirse ante las reducciones en la biodiversidad. A

pesar de este progreso, varias áreas de incertidumbre están a la espera aun de ser investigadas.

¿Cuáles son los efectos de los cambios en la biodiversidad a escalas diferentes de las de especies o grupos funcionales?

La mayor parte de los estudios que involucran biodiversidad y funcionamiento ecosistémico, se han enfocado solo en cambios en el número y en la variedad de especies y / o grupos funcionales. Aun cuando muchos procesos ecológicos importantes ocurren a nivel del paisaje y estudios actuales sugieren fuertemente que las alteraciones de la biodiversidad a nivel del paisaje afectan el funcionamiento ecosistémico. Existe la necesidad de llevar a cabo investigaciones experimentales que manipulen la biodiversidad tanto a grandes como a pequeñas (p. ej. genética) escalas.

¿El conocimiento actual es aplicable a todos los ecosistemas?

Los estudios hasta ahora han examinado principalmente ecosistemas aislados. Experimentos en el futuro, a lo largo de muchos tipos de ecosistemas, serán requeridos para probar si la evidencia de lagos o pastizales, por ejemplo, puede ser aplicada más ampliamente. Este enfoque está ya comenzando a ser probado en BIODDEPTH, un experimento paneuropeo de biodiversidad y funcionamiento ecosistémico que puede servir como modelo del tipo de experimentos requeridos. En ocho sitios en el campo a lo largo de Europa, investigadores de BIODDEPTH han creado ecosistemas de pastos y herbáceas variando los niveles

de biodiversidad obtenidos de los conjuntos de especies locales. Los resultados de estos estudios expandirán a nivel del paisaje nuestro conocimiento de la relación entre la biodiversidad y procesos tales como producción, descomposición y retención de nutrientes.

¿Que tan importante es la biodiversidad a todos los niveles de la cadena alimenticia para el funcionamiento ecosistémico?

Con excepción de algunos estudios conducidos dentro de cámaras de crecimiento en el laboratorio, la mayoría de los experimentos hasta ahora han considerado solo la diversidad de especies de plantas y no las variaciones el número de herbívoros, carnívoros, parásitos, descomponedores y otros actores en la cadena alimenticia. Sin embargo, estos organismos no solo comprenden la porción más numerosa de biota en la tierra, sino también son actores significativos en el flujo de materiales y energía. Experimentos que involucren múltiples niveles en la cadena alimenticia, son críticos para expandir nuestro entendimiento de las consecuencias ecológicas de la pérdida de la biodiversidad.

¿Cómo interactuarán otros cambios globales, con los patrones de cambio en la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas?

Actualmente, pocos experimentos están explícitamente examinando las interacciones entre factores tales como aumentos de dióxido de carbono atmosférico, la radiación ultravioleta-B, la deposición del nitrógeno, el calentamiento global, la fragmentación



Figura 9. Las especies pueden perderse de sistemas altamente diversos como arrecifes de coral, debido a cambios en la entrada de nutrientes. Un aumento en el escurrimiento de nutrientes derivados de la agricultura y productos de jardinería como el nitrógeno y el fósforo, pueden resultar en arrecifes de coral cubiertos por el crecimiento de algas.

de hábitat y los patrones de cambio de la biodiversidad. Los experimentos que consideran todos estos factores al mismo tiempo son imprácticos. Sin embargo, un proyecto que examina las interacciones de tres de estos factores está actualmente en marcha en *Cedar Creek Natural History Area* en Minnesota. El experimento BIOCON, manipula la diversidad de plantas, el dióxido de carbono y el nitrógeno en parcelas de pastizales experimentales.

¿Cuáles son las consecuencias económicas de las respuestas ecosistémicas a los cambios en la biodiversidad?

En la actualidad, valoraciones económicas se han enfocado en los valores por separado del mercado de los servicios ecosistémicos o de la biodiversidad. Análisis futuros que integren biodiversidad y funcionamiento ecosistémico pueden proveer un mejor entendimiento de los impactos económicos potenciales de la pérdida de biodiversidad.

CONCLUSIONES

Cambios sin precedente están ocurriendo en los ecosistemas del mundo, incluyendo la pérdida de especies, a través de extinciones locales, adiciones de especies por las invasiones biológicas, y cambios completos en los ecosistemas que siguen a la transformación de áreas naturales en ecosistemas manejados. Estos cambios tienen un importante número de efectos en los procesos ecosistémicos. Evidencia reciente demuestra, que tanto la magnitud, como la estabilidad de funcionamiento ecosistémico, son susceptibles a ser significativamente alterados por disminuciones en la diversidad local, en particular cuando la diversidad alcanza los niveles bajos típicos de ecosistemas manejados. Aunque quedan incertidumbres, la importancia de los servicios ecosistémicos al bienestar humano requiere que adoptemos una estrategia cautelosa de conservación de la biodiversidad con el fin de proteger los procesos de los ecosistemas vitales para nuestra sociedad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a G. Orians, L. Pitelka, S. Carpenter, W. Schlesinger, S. Tjossem, y un revisor anónimo por la evaluación crítica de este manuscrito.

SUGERENCIAS PARA FUTURAS LECTURAS

Las referencias siguientes son representativas de las publicaciones científicas y resúmenes en los cuales se basa este informe.

- Chapin III, F. S., B. H. Walker, R. J. Hobbs, D. U. Hooper, H. Lawton, O. Sala, and D. Tilman. 1997. Biotic control over the functioning of ecosystems. *Science* 277: 500-503.
- Chapin III, S. F., E.-D. Schulze, and H. A. Mooney. 1992. Biodiversity and ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution* 7: 107-108.
- Costanza, R., R. D'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neil, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, and M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Daily, G. C., ed. 1997. *Nature's services*. Island Press, Washington, D. C.
- Doak, D. F., D. Bigger, E. Harding-Smith, M. A. Marvier, R. O'Malley, and D. Thomson. 1998. The statistical inevitability of stability-diversity relationships in community ecology. *American Naturalist* 151: 264-276.
- Ehrlich, P. R., and A. H. Ehrlich. 1992. *Extinction: the causes and consequences of the disappearance species*. Random House, New York.
- Goulder, L. H., and D. Kennedy. 1997. Valuing ecosystem services: philosophical bases and empirical methods. Pages 23-48 in G. C. Daily, ed. *Nature's services*. Island Press, Washington, D. C.

- Hector, A., B. Schmid, C. Beierkuhnlein, M. C. Caldeira, M. Diemer, P. G. Dimitrakopoulos, J. A. Finn, H. Freitas, P. S. Giller, J. Good, R. Harris, P. Högberg, K. Huss-Danell, J. Joshi, A. Jumpponen, C. Körner, P. W. Leadley, M. Loreau, A. Minns, C. P. H. Mulder, G. O'Donovan, S. J. Otway, J. S. Pereira, A. Prinz, D. J. Read, M. Scherer-Lorenzen, E.-D. Schulze, A.-S. D. Siamantziouras, E. M. Spehn, A. C. Terry, A. Y. Troumbis, F. I. Woodward, S. Yachi, and J. H. Lawton. 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* 286: 1123-1127.
- Hooper, D. U., and P. M. Vitousek. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* 277: 1302-1305.
- McNaughton, S. J. 1993. Biodiversity and function of grazing ecosystems. Pages 361-384. in E. D. Schulze and H. A. Mooney, eds. *Biodiversity and ecosystem function*. Springer Verlag, New York.
- Naeem, S., K. Haakenson, L. J. Thompson, J. H. Lawton, and M. J. Crawley. 1996. Biodiversity and plant productivity in a model assemblage of plant species. *Oikos* 76: 259-264.
- Naeem, S., and S. Li. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390: 507-509.
- Naeem, S., and S. Li. 1998. Consumer species richness and autotrophic biomass. *Ecology*: 2603-2615.
- Naeem, S., L. J. Thompson, S. P. Lawler, J. H. Lawton, and R. M. Woodfin. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368: 734-737.
- Naeem, S., L. J. Thompson, S. P. Lawler, J. H. Lawton, and R. M. Woodfin. 1995. Empirical evidence that declining species diversity may alter the performance of terrestrial ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London, B*. 347: 249-262.
- Pimm, S. L., G. J. Russel, J. L. Gittleman, and T. M. Brooks. 1995. The future of biodiversity. *Science* 269: 347-350.
- Schulze, E.-D., and H. A. Mooney, eds. 1993. *Biodiversity and Ecosystem Function*. Springer Verlag, New York.
- Tilman, D., and J. A. Downing. 1994. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature* 367: 363-365.
- Tilman, D., J. Knops, D. Wedin, P. Reich, M. Ritchie, and E. Sieman. 1997a. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277: 1300-1302.
- Tilman, D., C. L. Lehman, and K. T. Thomson. 1997b. Plant diversity and ecosystem productivity: theoretical considerations. *Proceedings of the National Academy of Science* 94: 1857-1861.
- Tilman, D., S. Naeem, J. Knops, P. Reich, E. Siemann, D. Wedin, M. Ritchie, and J. Lawton. 1997c. Biodiversity and ecosystem properties. *Science* 278: 1866-1867.
- Tilman, D., D. Wedin, and J. Knops. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379: 718-720.
- Vitousek, P. M., and D. U. Hooper. 1993. Biological diversity and terrestrial ecosystem biogeochemistry. Pages 3-14 in E. D. Schulze and H. A. Mooney, eds. *Biodiversity and Ecosystem Function*. Springer Verlag, New York.
- Wilcove, D. S., D. Rothstein, J. Dubow, A. Philips, and E. Losos. 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience* 48: 607-615.
- Wilson, E. O. 1988. The current state of biological diversity. Pages 3-18 in E. O. Wilson, ed. *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D. C.

Acerca Del Panel De Científicos

Este informe, representa el consenso alcanzado, por un panel de doce científicos seleccionados, para incluir un amplio arreglo de expertos. Este informe fue sujeto a una revisión por pares y fue aprobado por el comité editorial de *Issues in Ecology* (Tópicos en Ecología). Las instituciones de pertenencia de los miembros del panel científico son:

- Dr. Shahid Naeem, Panel Chair, Department of Zoology, University of Washington, Seattle, WA, 98195
- Dr. F. S. Chapin III, Department of Integrative Biology, University of California Berkeley, Berkeley, CA, 94720
- Dr. Robert Costanza, Institute for Ecological Economics, University of Maryland, Solomons, MD, 20688
- Dr. Paul R. Ehrlich, Department of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA, 94305
- Dr. Frank B. Golley, Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, GA, 30602
- Dr. David U. Hooper, Department of Biology, Western Washington University, Bellingham, WA, 98225
- Dr. J. H. Lawton, NERC Centre for Population Biology, Imperial College at Silwood Park, Ascot, Berkshire, SL5 7PY United Kingdom
- Dr. Robert V. O'Neill, Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratories, Oak Ridge, TN, 37831
- Dr. Harold A. Mooney, Department of Biological Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305
- Dr. Osvaldo E. Sala, Departamento de Ecología, Facultad de Agronomía, University of Buenos Aires, Buenos Aires 1417, Argentina
- Dr. Amy J. Symstad, Department of Ecology, Evolution and Behavior, University of Minnesota, St. Paul, MN, 55108
- Dr. David Tilman, Department of Ecology, Evolution and Behavior, University of Minnesota, St. Paul, MN, 55108

Sobre El Escritor científico

Yvonne Baskin, una escritora científica, editó el reporte del panel de científicos para asegurar una comunicación más efectiva de sus descubrimientos con lectores no científicos.

Comité Editorial De Issues in Ecology

Dr. David Tilman, Editor en Jefe, Department of Ecology, Evolution and Behavior, University of Minnesota, St. Paul, MN 55108-6097. E-mail: tilman@lter.umn.edu.

Traducción al Castellano

Fabiola López Barrera, Instituto de Ecología, A.C., Km 2.5 Carretera Antigua a Coatepec No. 351, Congregación el Haya, Xalapa, Veracruz 91070, México
Revisor de la traducción: Robert H. Manson

Miembros del comité

- Dr. Stephen Carpenter, Center for Limnology, University of Wisconsin, Madison, WI 53706
- Dr. Deborah Jensen, The Nature Conservancy, 1815 North Lynn Street, Arlington, VA 22209
- Dr. Simon Levin, Department of Ecology & Evolutionary Biology, Princeton University, Princeton, NJ 08544
- Dr. Jane Lubchenco, Department of Zoology, Oregon State University, Corvallis, OR 97331
- Dr. Judy L. Meyer, Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, GA 30602
- Dr. Gordon Orians, Department of Zoology, University of Washington, Seattle, WA 98195
- Dr. Lou Pitelka, Appalachian Environmental Laboratory, Gunter Hall, Frostburg, MD 21532
- Dr. William Schlesinger, Departments of Botany and Geology, Duke University, Durham, NC 27708

Informes Previos

Informes previos de *Issues in Ecology* disponibles de la *Ecological Society of America* incluyen:

Vitousek, P.M., J. Aber, R.W. Howarth, G.E. Likens, P.A. Matson, D.W. Schindler, W.H. Schlesinger, and G.D. Tilman. 1997. Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Causes and Consequences, *Issues in Ecology* No. 1.

Daily, G.C., S. Alexander, P.R. Ehrlich, L. Goulder, J. Lubchenco, P.A. Matson, H.A. Mooney, S. Postel, S.H. Schneider, D. Tilman, and G.M. Woodwell. 1997. Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems, *Issues in Ecology* No. 2.

Carpenter, S., N. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley, and V. H. Smith. 1998. Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen, *Issues in Ecology* No. 3.

Copias adicionales

Para recibir copias adicionales de este reporte por favor contacte:



Ecological Society of America
1707 H Street, NW, Suite 400
Washington, DC 20036
esahq@esa.org, (202) 833-8773

Acerca de Issues in Ecology

Issues in Ecology está diseñado para reportar, en lenguaje comprensible para no-científicos, el consenso de un panel de científicos expertos en temas ambientales relevantes. *Issues in Ecology* son financiados por el Programa “Pew Scholars in Conservation Biology” y por la *Ecological Society of America* –ESA- (la Sociedad Norteamericana de Ecología). Este es publicado en intervalos irregulares, conforme los reportes se completan. Todos los reportes están sujetos a una detallada revisión y deben ser aprobados por el Consejo editorial antes de su publicación. Ninguna responsabilidad por la opinión expresada por los autos en las publicaciones de ESA es asumida por los editores o la editorial de la *Ecological Society of America*.

Issues in Ecology es una publicación oficial de la Sociedad Americana de Ecología, la sociedad nacional de profesionales líder de ecologistas. Fundada en 1915, ESA busca promover la aplicación responsable de principios ecológicos para la solución de problemas ambientales. Para mayor información, contactar a la *Ecological Society of America*, 1707 H Street, NW, Suite 400, Washington, DC, 20006. ISSN 1092-8987.

