



LA BIOLOGÍA SINTÉTICA podría constituir una herramienta valiosa para regenerar los ecosistemas amenazados de nuestro planeta y mitigar los efectos del cambio climático.

© JOHAN SWANEPOL/ISTOCKPHOTO

MEDIOAMBIENTE

# HACIA UNA BIOINGENIERÍA DEL PLANETA

La aplicación de métodos de biología sintética al diseño de nuevas interacciones ecológicas podría ayudarnos a evitar el colapso ambiental

*Ricard V. Solé, Raúl Montañez y Salva Duran-Nebreda*

## EN SÍNTESIS

**Numerosos** ecosistemas de nuestro planeta se hallan en un estado muy frágil, a punto de desaparecer, en gran parte como consecuencia de la presión humana y del cambio climático.

**Los autores** del presente artículo han desarrollado un modelo teórico en el que plantean la posible regeneración de estos hábitats. En concreto, proponen utilizar organismos sintéticos que, al crear nuevas interacciones ecológicas con las especies autóctonas, permitirían llevar al ecosistema a su situación previa al colapso y, desde esta, a un estado estable.

**El modelo** incluye barreras genéticas y ecológicas que evitan la dispersión incontrolada en la naturaleza de los organismos modificados.

**Ricard V. Solé** es investigador ICREA en la Universidad Pompeu Fabra (UPF) y miembro del Instituto Santa Fe, en Nuevo México. Sus investigaciones se centran en los orígenes de la complejidad biológica.

**Raúl Montañez** es miembro del Laboratorio de Sistemas Complejos de la UPF y del Instituto de Biología Evolutiva (UPF-CSIC). Investiga la complejidad biológica y sus mecanismos de regulación y evolución.

**Salva Duran-Nebreda**, miembro del laboratorio y del instituto de la UPF arriba mencionados, usa la biología sintética y la modelización para investigar los orígenes de la multicelularidad y el desarrollo.



**NUESTRA BIOSFERA HA EXPERIMENTADO A LO LARGO DE SU EXISTENCIA** numerosos cambios climáticos abruptos y cinco extinciones masivas que han dejado una marca clara en el registro fósil. Una de ellas, la del final del Pérmico, casi provocó la desaparición de la vida en la Tierra, según apunta el paleontólogo Michael Benton, de la Universidad de Bristol. En la actualidad, los datos parecen indicar que nuestro planeta está sufriendo un nuevo proceso de cambio. A medida que las señales de alarma van en aumento, crece la sensación de que la viabilidad de nuestros ecosistemas puede verse seriamente amenazada por el cambio climático y el deterioro ambiental. La temperatura global está ascendiendo a una velocidad cada vez mayor como consecuencia de la acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero. Las especies invasoras, la caza, la contaminación o la pérdida y fragmentación de hábitats están promoviendo la pérdida irreversible de biodiversidad. El empleo desmedido de combustibles fósiles y la presión que ejercen sobre los ecosistemas la explosión demográfica humana y nuestro modelo de consumo son, en gran medida, responsables de estos cambios. Así pues, todo apunta a que, en esta ocasión, podríamos ser la causa principal de la que se prevé que será la sexta gran extinción.

¿Cómo podemos reaccionar ante esta enorme amenaza? Recientemente, nuestro grupo ha propuesto una posible solución basada en la combinación de la ingeniería ecológica y la biología sintética. En concreto, hemos desarrollado una hipótesis que plantea el uso de organismos sintéticos para hacer frente a los principales retos ambientales de nuestro planeta. Nuestra estrategia conllevaría en particular la creación de nuevas interacciones ecológicas que permitieran mantener o recuperar la estabilidad de comunidades ecológicas frágiles. Con ella podría evitarse el colapso de los ecosistemas degradados, mitigar la acumulación de los gases de efecto invernadero o eliminar contaminantes de distintos hábitats. Nuestro modelo incluye, además, barreras genéticas y ecológicas para impedir la dispersión de los organismos modificados, que serían inviables fuera de las condiciones estrictas para las que se han creado.

Hemos bautizado nuestra idea con el nombre de «terraformación». El concepto, que nació en 1942 en la literatura de ciencia ficción, se propuso más tarde como una forma de modificar el clima de otros planetas, en particular el de Marte. James Lovelock sugirió, por ejemplo, la inyección en el planeta de gases de efecto invernadero, como los clorofluorocarburos, para provocar un aumento de las temperaturas y la liberación del agua congelada en el permafrost marciano. Dado que estas propuestas tienen que ver con crear condiciones similares a las de la Tierra, hablamos de terraformación para referirnos a modificaciones artificiales de hábitats destinadas a favorecer la presencia de sistemas vivos (tal y como los conocemos).

A diferencia de Marte, que puede ser un planeta biológicamente inerte, la terraformación de nuestro planeta consistiría en modificar una biosfera ya existente introduciendo pequeñas variaciones en las interacciones ecológicas con el fin de evitar el

colapso del ecosistema, o al menos paliar alguno de los efectos del cambio climático. Para ello nos apoyamos en dos ideas clave: la primera es que, mediante el conjunto apropiado de genes y mecanismos de regulación, podemos ampliar el fenotipo de algunos microorganismos autóctonos; la segunda se basa en el conocimiento sobre cómo las dinámicas cooperativas entre organismos pueden modificar los flujos de materia y energía a través de las redes ecológicas, lo que favorecerá la construcción de un nicho ecológico estable y promoverá su resiliencia.

#### PERSPECTIVA ACTUAL

Para hacer frente a las amenazas ambientales, durante las últimas décadas se han desarrollado numerosas ideas (no excluyentes entre sí) que abarcan desde una profunda revisión y cambio de nuestros hábitos de consumo hasta intervenciones activas sobre el clima. La modificación de nuestros hábitos requiere un ajuste profundo del sistema económico actual, el establecimiento de acuerdos internacionales y un cambio social de gran calado, así que parece mucho más fácil apostar por la intervención sobre un problema ambiental dado o sobre sus efectos. En este contexto, hay dos grandes retos, relacionados entre sí, que debemos abordar: reducir las concentraciones de gases de efecto invernadero y preservar la estabilidad de ecosistemas clave cuya diversidad se halla amenazada.

La geoingeniería, basada en el desarrollo de métodos de modificación del clima a escala regional e incluso global, se postula como una posible estrategia de intervenir sobre el clima. En ella se contempla, entre otras opciones, inyectar aerosoles en la estratosfera, crear nubes capaces de reflejar la luz solar o secuestrar el dióxido de carbono en estratos profundos.

Por otra parte, existen técnicas que utilizan sistemas vivos (bacterias, plantas u hongos) seleccionados o diseñados para mejorar el estado de un ecosistema que se ha deteriorado. Estas técnicas se conocen como métodos de biorremediación. Entre sus objetivos figuran la eliminación de contaminantes como los metales pesados (el mercurio) o la degradación de moléculas orgánicas como el tolueno o los vertidos de petróleo en el océano. La biorremediación se basa en la liberación de organismos que pueden o que necesitan emplear las sustancias contaminantes para su crecimiento. De este modo, una vez liberados, proliferarán a expensas de un recurso que es tóxico para otras especies hasta completar el proceso de limpieza.

Aunque ambas formas de abordar daños ambientales resultan relevantes y en la actualidad se hallan en desarrollo, ninguna de ellas, tal y como están concebidas, permite hacer frente a los retos que planteábamos más arriba. La geoingeniería puede mitigar, a largo plazo y con un elevado coste económico, el exceso de dióxido de carbono o metano en la biosfera; pero, mucho antes de alcanzar los niveles deseados, algunos ecosistemas clave colapsarán, junto con las sociedades humanas que dependen de ellos para sobrevivir. Por otra parte, muchos de estos ecosistemas en peligro no están contaminados, sino que precisan una modificación en su organización que va más allá de la simple biorremediación mediante la introducción de un determinado organismo.

Además, la celeridad con la que pueden darse algunos cambios en el futuro hace que debamos afrontar los riesgos sin más demora. Llegar a una solución, y hacerlo a tiempo, tal vez exija un cambio de estrategia, una nueva visión del problema en la que la biología sintética y la ingeniería ecológica se aúnen, para rediseñar nuevos elementos y relaciones que permitan restablecer el correcto funcionamiento de los ecosistemas degradados, de modo que recuperen su productividad y funcionalidad.

### TRANSICIONES ABRUPTAS

En las últimas décadas, los estudios sobre la estabilidad de los ecosistemas, tanto terrestres como marinos, han puesto de manifiesto que su respuesta ante las variaciones del entorno puede resultar catastrófica. El Sáhara, que actualmente asociamos a un desierto sin vida, nos ofrece un ejemplo de que este tipo de catástrofes han ocurrido en el pasado y muy probablemente se repetirán en el futuro. Hace algo más de 5500 años la región se hallaba cubierta por vegetación y estaba dominada por ecosistemas ricos en especies. Pero, en menos de un siglo, se deterioró hasta una situación de colapso irreversible, pese a que variables climáticas como la insolación habían ido cambiando de forma modesta.

En teoría ecológica, decimos que estos sistemas son bistables: existen dos estados posibles, muy distintos, separados por una frontera que está definida por un punto crítico. En el caso de la desertificación, el estrés ambiental (asociado a un valor umbral de intensidad de pastoreo o de precipitaciones) es el parámetro clave que determina la transición entre un estado con cubierta vegetal y otro desértico. ¿Cuál es el origen de estos cambios bruscos? Como suele ocurrir en ecología, las

interdependencias entre las especies y sus efectos sobre las variables ambientales están lejos de seguir un esquema lineal, en el que la respuesta es proporcional a la causa. En general, los mecanismos biológicos de modificación del nicho ecológico estabilizan el sistema y lo alejan del estado que, de otro modo, determinarían las variables puramente ambientales. Pero, una vez se superan ciertos límites (puntos críticos), la estabilidad se pierde por completo y el sistema pasa a estar controlado por las variables abióticas.

La ecología de los sistemas bistables se conoce bien, gracias a lo cual se han podido desarrollar modelos que permiten simular o predecir su comportamiento a largo plazo cuando se modifican distintos parámetros. Si empleamos estos modelos para representar el porcentaje de suelo cubierto por plantas a medida que aumenta el estrés sobre el sistema, observamos que la vegetación se va reduciendo lentamente conforme se intensifica el estrés; pero, a partir de cierto nivel de estrés, se produce una caída abrupta y acelerada de la cubierta vegetal hasta su extinción. De darse esta transición, resultaría además irreversible: aunque lográramos restablecer las condiciones anteriores, se necesitaría una reducción muy notable del estrés para posibilitar la vuelta a un estado con vegetación.

Los estudios indican que algunos ecosistemas bien conocidos, entre ellos los de la región del Kalahari y algunos de la cuenca mediterránea, podrían estar mostrando indicios de acercarse a esos puntos críticos. La importancia de los ecosistemas áridos es enorme: constituyen casi el 40 por ciento de la superficie de todos los ecosistemas terrestres y sostienen un porcentaje similar de población humana, que en la mayoría de los casos contribuye a aumentar la presión sobre la cubierta vegetal como consecuencia del pastoreo. Dado lo apremiante de la situación, ¿cómo podemos devolver estos sistemas a unas condiciones que favorezcan su conservación y, a su vez, nuestra supervivencia?



LA ISLA DE ASCENSIÓN ofrece un ejemplo histórico de terraformación. En el pasado desprovista de vegetación, hoy incluye en su zona más alta (Green Mountain) un bosque nuboso. Este puede considerarse un ecosistema «sintético»: la combinación de plantas que coexisten en él no se da en ningún otro lugar y se debe a las especies exóticas elegidas para la reforestación.

Para resolver este problema, es posible que necesitemos formular una nueva aproximación interdisciplinar que incluya introducir modificaciones en la arquitectura de las interacciones entre especies.

### EL PRIMER ECOSISTEMA SINTÉTICO

La transformación de los ecosistemas es algo que está ocurriendo de forma constante y generalizada, y ello no solo afecta a la presencia o ausencia de organismos. Tiene también un gran impacto en los procesos de transferencia genética horizontal y en la reorganización de las redes de interacciones entre especies.

Cuando nos planteamos modificar un ecosistema, inmediatamente salta en nosotros una señal de alarma: ¡no podemos poner en peligro la naturaleza! Tendemos a pensar que los ecosistemas que nos rodean son de algún modo «primigenios»; o que tenemos el compromiso de retornarlos a su estado «original» a partir de lo que nos queda de ellos. Muy a menudo no se tiene en cuenta que su organización es ciertamente distinta de la de los ecosistemas que los precedieron, aunque no por ello resulte poco diversa o carente de interés.

Un ejemplo histórico de ingeniería de ecosistemas que resulta interesante y a la vez alentador lo ofrece la isla de Ascensión. Este territorio localizado en medio del Atlántico sufrió una pérdida notable de biodiversidad después de que los marinos portugueses introdujesen cabras en él en el siglo XVI. La degradación llegó a tal punto que, cuando el *Beagle* llegó a Ascensión en 1836, un joven Charles Darwin la describió como «un trozo de ceniza». Impulsado por el botánico Joseph Hooker, se inició a mediados del siglo XIX un programa de introducción de especies foráneas, especialmente árboles, con la hipótesis de que estos ayudarían a atrapar más humedad y permitirían sustentar un ecosistema más diverso. El resultado final del que podríamos llamar el primer ecosistema sintético fue espectacular. Hacia finales del mismo siglo se habían establecido en Ascensión un buen número de especies que jamás antes habían coincidido en un mismo ecosistema (como pinos, bambú y eucaliptos), formando un bosque nuboso tropical. Veinte años después de la intervención, aquella isla en la que era imposible hallar un manantial tenía un aporte de agua excelente. De ello se desprende la importante lección de que los humanos también pueden tener un impacto positivo sobre los ecosistemas y que estos pueden emerger a partir de condiciones totalmente artificiales y formar comunidades complejas. Lo que ocurrió en Ascensión constituye un precedente que nos sirve para ilustrar nuestra idea de la terraformación de la Tierra para evitar un colapso ambiental a gran escala.

El empleo de organismos genéticamente modificados es un tema socialmente controvertido. Su uso se limita actualmente a la agricultura intensiva, con escasas excepciones en otros ámbitos, como la cría del salmón. Por otra parte, diversos estudios han demostrado la eficiencia de utilizar cepas microbianas seleccionadas artificialmente para llevar a cabo tareas de descontaminación, pero los ensayos sobre esta aplicación en campo abierto son aún limitados. ¿Podríamos emplear organismos diseñados para rescatar un ecosistema en peligro de colapso?

### POSIBLES CASOS DE TERRAFORMACIÓN

Tomemos como ejemplo la aplicación de la terraformación en los ecosistemas semiáridos, cuyo problema principal es, además del sobrepastoreo, la baja retención de agua en el suelo. En estos hábitats, el sustrato clave responsable de mantener y favorecer la presencia de vegetación es la llamada costra del suelo [véase «Es-

partales ibéricos», por Fernando T. Maestre; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre de 2008]. Esta constituye un complejo ecosistema en el que numerosas especies, como briófitos, líquenes, hongos y bacterias, interactúan entre sí formando una red compleja pero que se muestra frágil ante las actividades humanas. Supongamos ahora que logramos modificar algunas de las especies presentes en estas costras de forma que mejoren la calidad del suelo, ya sea porque segregan alguna molécula higroscópica (capaz de retener agua), o tal vez porque fijan mejor el nitrógeno atmosférico, todo lo cual puede ayudar a otras especies a proliferar. En ambos casos, el objetivo consiste en crear una dependencia mutua entre la cubierta vegetal que queremos preservar y la especie del suelo que modificamos. Esta última llevará a cabo la función mejorada, lo que revertirá en un mayor desarrollo de las plantas, que, a su vez, favorecerán las condiciones del suelo a su alrededor. Estos cambios no tienen por qué ser drásticos (de hecho, puede que las propias limitaciones del medio árido lo impidan), pero basta con que logren mantener la vegetación estabilizada. De ser así, evitarían que el ecosistema alcanzara el punto crítico y su declive hacia el estado desértico.

La biología sintética puede emplearse en hábitats fuertemente transformados por el ser humano. De hecho, la mayoría de los ecosistemas que existen en la actualidad sobre nuestro planeta constituyen ecosistemas noveles que son el resultado de cambios antropogénicos. Al igual que en el ejemplo de la isla de Ascensión, se trata de hábitats en los que, por diferentes causas, se han reunido especies exóticas con especies locales que compiten o cooperan entre sí y que, en conjunto, han creado nuevas comunidades ecológicas.

Suele pensarse en una especie exótica como una contribución negativa a la biología autóctona. Sin embargo, sabemos que algunas especies invasoras han permitido mejorar la estabilidad del ecosistema e incluso favorecer una mayor diversidad. En el extremo de los ecosistemas noveles, hallaríamos los vertederos alrededor de grandes centros urbanos, las explotaciones mineras o los sistemas de alcantarillado, así como las numerosas manchas de plástico marino localizadas en los vórtices oceánicos de todo el planeta.

Los organismos sintéticos podrían desempeñar diversas funciones en los mares contaminados por plásticos. Podrían descomponer estos u otros materiales de difícil degradación (con lo que llevaríamos a cabo un proceso de biorremediación), pero también podrían potenciar directa o indirectamente la fijación de biomasa en el ecosistema o promover la estabilidad de este mediante nuevas interacciones con otras especies (con lo que nos acercaríamos a la geoingeniería). La viabilidad de este escenario parece confirmada por la observación de que, de forma natural, han aparecido cepas de microorganismos que degradan activamente el plástico. Así lo ha demostrado el trabajo de Shosuke Yoshida, del Instituto de Tecnología de Kioto, y sus colaboradores, que han identificado una nueva bacteria, *Ideonella sakaiensis*, que emplea un derivado del poliestireno como fuente básica de carbono y energía.

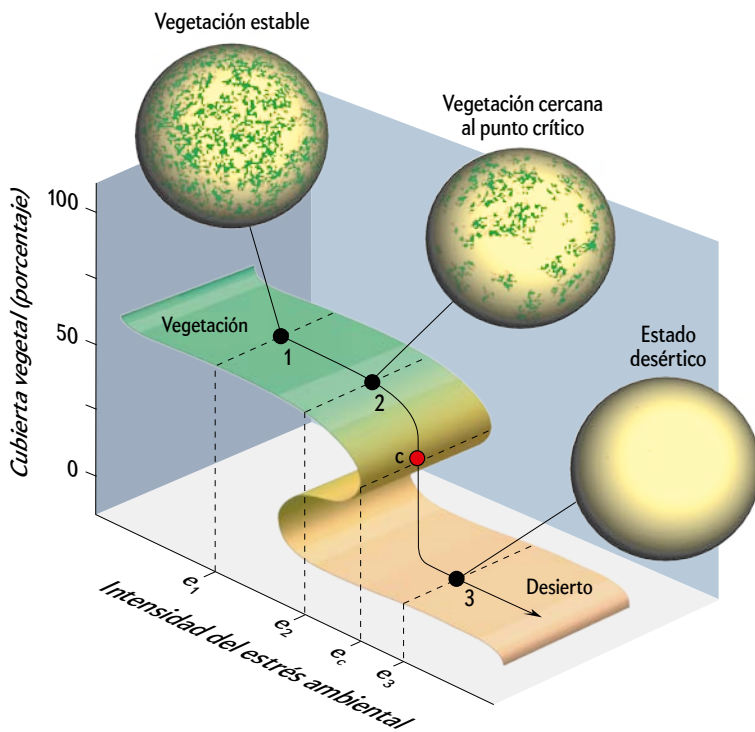
La biología sintética nos ayudaría a abordar de forma racional numerosos retos ambientales mediante la introducción de organismos modificados que permitan resolver este tipo de situaciones, pero también permitiría incorporar mecanismos de control y estabilización. Cuando el organismo sintético no operara de forma eficiente, o dejara de aportar alguna ventaja (en el caso del sistema árido, cuando se hubieran alcanzado ciertas condiciones de humedad debido a la mayor cubierta vegetal, y en el caso del plástico, cuando se hubiera consumido

# Evitar el colapso de un ecosistema

Los **ecosistemas áridos**, sometidos a un fuerte estrés ambiental a causa de la escasez de agua y el sobrepastoreo, se caracterizan por una fragilidad extrema. Su respuesta ante el deterioro de las condiciones puede ser brusca y dar lugar al colapso y a la desertificación. La biología sintética podría ayudar a evitarlo al restablecer la humedad edáfica y facilitar la regeneración vegetal.

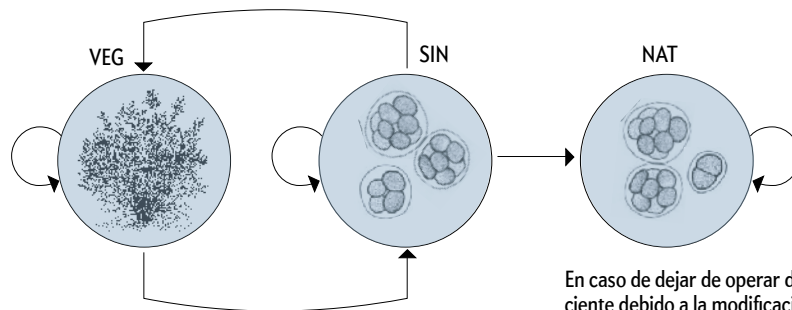
## Transición crítica

La desertificación puede representarse gráficamente como la pérdida de cubierta vegetal con el aumento del estrés ambiental (intensidad de forrajeo o estrés hídrico) (izquierda). Al principio se atraviesan de forma continua distintos estados (puntos 1 y 2) que permiten la presencia de vegetación. Pero, a partir de cierto punto crítico (c), el ecosistema experimenta un cambio súbito que implica el colapso hacia un estado desértico (punto 3). Esta transición brusca ya se ha dado en algunas zonas y es muy posible que vuelva a tener lugar en el futuro (derecha).



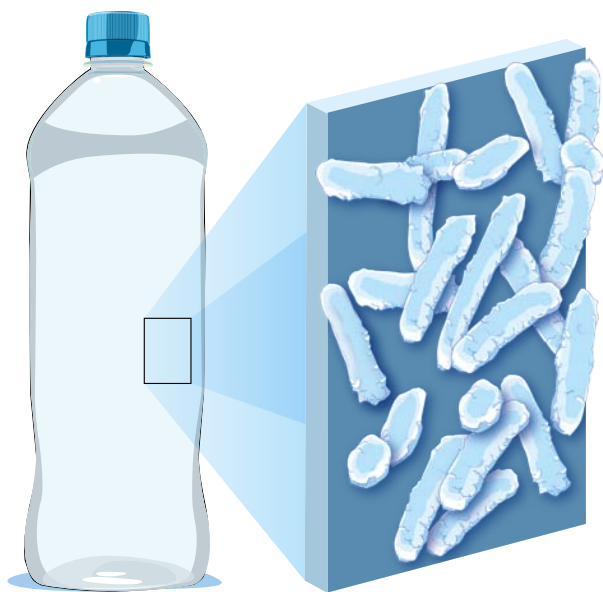
## Reparación sintética

Una forma de impedir esta transición catastrófica consistiría en emplear una especie microbiana del suelo, como el alga unicelular *Nostoc*. A partir de la variante natural (NAT) de esta alga puede crearse una variante sintética (SIN) capaz de establecer o reforzar una interacción mutualista con la vegetación (VEG).



La variante sintética segrega, por ejemplo, una molécula que mejora la retención de agua en el suelo, lo que permite la persistencia e incluso la expansión de la vegetación, lo que a su vez mejorará las condiciones en las que se desenvuelve la especie modificada.

En caso de dejar de operar de forma eficiente debido a la modificación de las condiciones, el organismo sintético reverte a su forma original, con lo que se evita su dispersión en el ambiente.



EN LOS SUSTRATOS PLÁSTICOS se ha descubierto una bacteria, *Ideonella sakaiensis*, que logra vivir del plástico de tipo PET al incorporar sus componentes (etilenglicol y ácido tereftálico) como biomasa. De este modo, no solo elimina el plástico del entorno, sino que al mismo tiempo retira CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Además, su desarrollo queda confinado a aquellos lugares donde hay estos plásticos, por lo que se evita su dispersión a otros hábitats. Este sistema puede servir de modelo para crear ecosistemas sintéticos en otros sustratos, de manera que contribuyan a procesar otros desechos o sustancias contaminantes.

todo el material), simplemente revertiría a su forma original. Ello supone una barrera genética y también ecológica a la dispersión de los organismos modificados, que serían inviables fuera de las condiciones estrictas del sistema para el que se han diseñado.

Estos son solo dos ejemplos de un conjunto bien definido de formas de diseñar circuitos ecológicos de terraformación. Todos ellos implican el empleo de una especie modificada que aporta una función de interés ecológico, desde el procesamiento de contaminantes hasta la mejora de la resistencia al estrés, y evita así el colapso del ecosistema.


### POSIBILIDADES Y OBSTÁCULOS

En ecología, se considera que un ecosistema se ha recuperado cuando este alcanza un equilibrio en la composición de especies, la estructura espacial y los procesos dinámicos [véase «Reforestación», por P. J. Rey y J. M. Alcántara; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, febrero de 2011]. En este sentido, nuestro objetivo no es simplemente diseñar nuevas especies que desarrollen una función biorremediadora, sino crear sistemas ecológicos estables y autosostenibles donde las estrategias mutualistas y de facilitación de nicho nos permitan expandir las poblaciones de organismos capaces de paliar los efectos derivados de actividades humanas.

La ventaja de emplear una conexión cooperativa entre dos especies es que, según indican nuestros modelos teóricos, el sistema diseñado queda confinado a llevar a cabo una función bien definida en un contexto ecológico que lo limita. El grado de dependencia del organismo sintético desemboca así en un control doble: genético y ecológico.

Se trata de una estrategia ambiciosa que, sin duda, requerirá estrategias interdisciplinares y la creación de conocimiento a caballo entre la ecología de poblaciones, la ingeniería de ecosistemas, la biología sintética y la genética molecular. La propuesta choca frontalmente con las posiciones conservadoras que abogan por la restauración de los ecosistemas a sus estados primigenios y la eliminación, cuando sea preciso, de las especies que se consideran exóticas. Pero hay que admitir que la inmensa mayoría de los hábitats que nos rodean, incluso los cada vez más reducidos puntos calientes de biodiversidad, que debemos preservar a toda costa, han experimentado un mayor o menor impacto antropogénico. Como señala la bióloga y experta en temas ambientales Emma Marris, devolverlos a su estado anterior «es simplemente demasiado difícil».

El planteamiento que defendemos ya se ha puesto en práctica con el diseño de algunos ecosistemas sin el empleo de organismos sintéticos. Por ejemplo, Margaret Palmer, experta en restauración de ecosistemas de la Universidad de Maryland, ha liderado la visión de que la restauración de un ecosistema histórico del que apenas sabemos nada (y que posiblemente sea irre recuperable) debe ser reemplazada por el diseño y la ingeniería, que darán lugar a nuevos ecosistemas que tendrán poco que ver con sus predecesores [véase «Límites de la restauración de humedales», por David Moreno Mateos; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, agosto de 2015]. Estos ecosistemas artificiales pueden ser de hecho más diversos y eficientes.

Cabe preguntarse si las ventajas que ofrecería la terraformación basada en la biología sintética, que correspondería a una forma de bioingeniería, podrían reemplazar a las que aportaría la geoingeniería. Sin duda, una ventaja clara (y una diferencia esencial) es que la bioingeniería implica construir máquinas que están vivas y se multiplican, con lo que extienden su acción a medida que se propagan por el sistema que deseamos cambiar. Y ante el recelo que pueden suscitar las comunidades sintéticas, es preciso señalar, una vez más, que estas no tienen por qué ser menos interesantes o irrelevantes que las que etiquetamos como «naturales». Por último, no olvidemos que —igual que ocurrió en Ascensión— tras unas décadas de desarrollo puede emerger un nuevo ecosistema de gran complejidad. Si realmente deseamos preservar la biodiversidad de nuestro planeta para las generaciones venideras, es muy posible que lo logremos solo si combinamos la protección de los hábitats que se han conservado hasta hoy con la creación de condiciones adecuadas para la emergencia de los ecosistemas artificiales que también formen parte de nuestro futuro. 

#### PARA SABER MÁS

**Bioengineering the biosphere.** Ricard Solé en *Ecological Complexity*, vol. n.º 22, págs. 40-49, 2015.

**Synthetic circuit designs for earth terraformation.** Ricard V. Solé, Raúl Montañez y Salva Duran-Nebreda en *Biology Direct*, DOI: 10.1186/s13062-015-0064-7, julio de 2015.

**A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate).** Shosuke Yoshida et al. en *Science*, vol. 351, n.º 6278, págs. 1196-1199, marzo de 2016.

#### EN NUESTRO ARCHIVO

**Límites de un planeta sano.** Jonathan Foley en *IyC*, junio de 2010.

**Ecosistemas al borde del colapso.** Carl Zimmer en *IyC*, diciembre de 2012.

**Las matemáticas de la biodiversidad.** Jordi Bascompte en *IyC*, octubre de 2013.