



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura

251

ISSN 0251-1584

# unasyuva

Revista internacional sobre bosques y actividades e industrias

forestales

Vol. 70 2019/1

**LOS BOSQUES, SOLUCIONES  
PARA EL AGUA BASADAS EN  
LA NATURALEZA**



# Programa sobre los bosques y el agua

El Programa sobre los bosques y el agua de la FAO visualiza un mundo en el que los paisajes forestales resilientes se gestionan de manera eficaz para brindar servicios ecosistémicos sostenibles vinculados al agua. En colaboración con sus socios de los sectores forestal y del agua, el programa apoya a los países y las

partes interesadas a fin de concretar esta visión, para lo que facilita el intercambio de conocimientos y experiencias, fortalece las capacidades de los administradores de bosques, tierras y aguas para gestionar el nexo bosque-agua, y proporciona herramientas que apoyan la toma de decisiones.



**Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura**

Más información en:  
**[www.fao.org/in-action/forest-and-water-programme](http://www.fao.org/in-action/forest-and-water-programme)**



# unasyilva

Revista internacional sobre bosques y actividades e industrias forestales

Vol. 70 2019/1

**Redactor:** A. Sarre

**Junta Consultiva sobre Política de Edición:** N. Berrahmouni, J. Campbell, P. Csoka, J. Fox, H. Abdel Hamied, D. Hewitt, T. Hofer, H. Ortiz, L. Pina, E. Springgay, A. Taber, S. Wertz, Xia, Z., E. Yazici, Zhang, D.

**Consejeros eméritos:** J. Ball, I.J. Bourke, C. Palmberg-Lerche, L. Russo

**Traductora y revisora:** Macarena Vidal Fratelli  
**Diseñador gráfico:** Roberto Cenciarelli

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

ISBN 978-92-5-132068-6  
© FAO, 2019



Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO); <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>.

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: "La presente traducción no es obra de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La FAO no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en [idioma] será el texto autorizado".

Todo litigio que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación vigentes serán el reglamento de mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (disponible en <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules>) y todo arbitraje se llevará a cabo de manera conforme al reglamento de arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

**Materiales de terceros.** Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

**Ventas, derechos y licencias.** Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a [publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org). Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request). Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

ISSN 0251-1584 [Impresa]  
ISSN 1564-3719 [En línea]

## Índice

<b>Editorial</b>	<b>2</b>
<i>E. Springgay</i> <b>Los bosques concebidos como soluciones naturales para el agua</b>	<b>3</b>
<i>D. Ellison, L. Wang-Erlandsson, R. van der Ent y M. van Noordwijk</i> <b>Bosques contra el viento: cómo gestionar el reciclaje de la humedad para lograr una resiliencia basada en la naturaleza</b>	<b>15</b>
<i>A.D. del Campo, M. González-Sanchis, U. Ilstedt, A. Bargués-Tobella y S. Ferraz</i> <b>Bosques y sistemas agrosilvopastorales de tierras secas: el agua como eje central</b>	<b>29</b>
<i>M. Gustafsson, I. Creed, J. Dalton, T. Gartner, N. Matthews, J. Reed, L. Samuelson, E. Springgay y A. Tengberg</i> <b>Deficiencias en materia de ciencia, políticas y prácticas en el nexo bosque-agua</b>	<b>39</b>
<i>R. Lindsay, A. Ifo, L. Cole, L. Montanarella y M. Nuutinen</i> <b>Turberas: el desafío de cartografiar las reservas invisibles de carbono y agua del mundo</b>	<b>50</b>
<i>D.W. Hallema, A.M. Kinoshita, D.A. Martin, F.-N. Robinne, M. Galleguillos, S.G. McNulty, G. Sun, K.K. Singh, R.S. Mordecai y P.F. Moore</i> <b>Incendios, bosques y suministro de agua en ciudades</b>	<b>63</b>
<i>L. Spurrier, A. Van Breda, S. Martin, R. Bartlett y K. Newman</i> <b>Soluciones basadas en la naturaleza para los desastres vinculados al agua</b>	<b>74</b>
<b>FAO Montes</b>	<b>83</b>
<b>El mundo forestal</b>	<b>84</b>
<b>Libros</b>	<b>86</b>

## EDITORIAL

Es probable que el agua, el agua limpia y potable, sea uno de los recursos más limitantes en el futuro, dado el crecimiento de la población mundial, la gran demanda de agua de los sistemas de producción agrícola y los centros urbanos, y los efectos distorsionadores del cambio climático. Necesitamos manejar el agua de forma inteligente, eficiente, rentable y equitativa si pretendemos evitar la calamidad que implica carecer de agua utilizable.

Las cuencas forestales proporcionan aproximadamente el 75 % de los recursos de agua dulce accesibles del mundo, de los cuales depende más de la mitad de la población de la Tierra para fines domésticos, agrícolas, industriales y ambientales. Por ende, la gestión forestal sostenible es esencial para lograr un buen manejo del agua, y puede proporcionar «soluciones basadas en la naturaleza» para muchos desafíos relacionados con dicho recurso. En esta edición de *Unasylva* se analizan los desafíos para concretar ese potencial.

En su artículo, Springgay explica que las soluciones basadas en la naturaleza relativas a la gestión del agua implican efectuar una gestión de los ecosistemas (forestales o de otro tipo) que imite u optimice los procesos naturales en el suministro y la regulación del agua. En la actualidad, en muchas partes del mundo, la gestión del agua depende en gran medida de la infraestructura «gris», que implica el uso de hormigón y acero. Para que se produzca un desplazamiento hacia las soluciones basadas en la naturaleza, agrega Springgay, se requiere un cambio transformador en el pensamiento, de forma tal que se considere y se maneje a los bosques y demás ecosistemas como reguladores del agua dulce. La autora hace varias recomendaciones para facilitar la transición hacia la infraestructura «verde» en la gestión del agua.

Por su parte, Ellison *et al.* presentan hallazgos sorprendentes en su artículo sobre la función de los bosques en la multiplicación del suministro oceánico de agua dulce a través del reciclaje de la humedad (la lluvia se devuelve a la atmósfera a través de la evapotranspiración, lo que hace que sea posible que vuelva a caer nuevamente bajo la forma de lluvia en las zonas ubicadas en la dirección del viento). Los bosques, explican los autores, exhiben un reciclaje de la humedad más intenso que la cubierta terrestre no forestal, en parte debido a su mayor potencial de almacenamiento de agua, lo que, a su vez, les permite devolver la lluvia a la atmósfera incluso en períodos secos. El trazado de mapas con las fuentes y las zonas receptoras de precipitación y evaporación puede indicar los sitios en que las iniciativas de restauración forestal serán más eficaces a fin de maximizar el reciclaje de la humedad para las áreas más secas que se encuentren en la dirección del viento. Existe una necesidad acuciante, argumentan los autores, de rediseñar los marcos institucionales para que contemplen las relaciones bosque-agua a larga distancia y los efectos de retroalimentación que tienen sobre la disponibilidad de agua.

Campo y sus coautores presentan tres estudios de caso para demostrar hasta qué punto los enfoques de gestión «centrados en el agua» pueden aumentar la resiliencia de los bosques de tierras secas frente al cambio climático. Por ejemplo, el manejo prudente del bosque de pinos de Aleppo, ubicado en una región seca de España, puede aumentar el crecimiento y el vigor de los árboles y proteger los suelos, al tiempo que aumenta el caudal de captación de agua y los flujos de dicho recurso aguas abajo. Dicha «gestión forestal basada en la ecología» puede aumentar la disponibilidad de agua en los ambientes donde hay una escasez del recurso hídrico y, por ende, también aumentará la resiliencia socioecológica.

Gustafsson y sus coautores analizan los vacíos que existen en

materia del conocimiento que se requiere para incorporar plenamente el nexo bosque-agua (es decir, la relación entre los bosques y el agua) en las políticas y en la práctica. La gestión de este nexo será crucial para lograr muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, pero ello requiere adoptar un enfoque de paisaje. No obstante, hay una falta de conocimiento sobre los factores que regulan las múltiples funciones de los paisajes, sus interacciones y, en última instancia, sus efectos sobre los usuarios del agua. Los autores describen oportunidades para abordar el nexo bosque-agua a escala de paisaje, y hacen recomendaciones de investigación para ayudar a subsanar los vacíos de conocimiento.

Lindsay *et al.* abogan para que se les preste mucha más atención normativa a las turberas, ya que, según sostienen, a menudo no tienen el debido reconocimiento y se ignoran y, por tanto, están sujetas a un drenaje generalizado y a la conversión del uso de la tierra. Sin embargo, las turberas contienen grandes reservas de carbono y, por consiguiente, su destrucción o mala gestión podría aumentar considerablemente el calentamiento global. Por ejemplo, incluso una turba poco profunda (de 30 centímetros de profundidad) contiene más carbono que la selva tropical primaria. Las turberas también son enormes reservorios de agua dulce y su pérdida podría tener importantes consecuencias para la sostenibilidad del suministro de agua. Parte del problema para que las turberas gocen de mayor reconocimiento radica en que pueden ser difíciles de identificar, y los autores proporcionan una prueba simple en tal sentido. Asimismo, hacen recomendaciones para que las autoridades normativas afronten este desafío que, aunque es considerable, se mantiene esencialmente oculto.

Hallemá y sus coautores analizan las consecuencias de modificar los regímenes de incendios forestales para el manejo de los bosques y el agua. La creciente presencia de incendios forestales extremos amenaza la capacidad de los bosques para proporcionar agua limpia. Los autores sostienen que la formulación de estrategias rentables para manejar el fuego y el agua a la luz del cambio climático, el aumento de la urbanización y otras tendencias requiere de una mayor comprensión de los impactos regionales y las interacciones del fuego. Deben identificarse y gestionarse activamente los bosques que son importantes para el suministro de agua, pero que corren el riesgo de sufrir incendios forestales extremos, algo que requiere de la participación de administradores forestales, hidrólogos, especialistas en salud pública, expertos en incendios forestales y el público en general.

Finalmente, Spurrier *et al.* analizan la función crucial de los manglares en la reducción del riesgo de desastres para millones de personas que se encuentran en zonas costeras vulnerables. A pesar de su importancia, los manglares continúan disminuyendo en extensión, y el cambio climático y otros fenómenos los amenazan aún más. Para ayudar a mantener la función de reducción del riesgo de desastres de los manglares y de otras infraestructuras naturales (o verdes), los autores recomiendan el uso de marcos adaptativos y herramientas de apoyo a la toma de decisiones que permitan a los administradores integrar y actualizar continuamente las proyecciones de riesgo de cambio climático, uso de la tierra y aumento de la población humana.

Los bosques y el agua siempre han estado íntimamente entrelazados, y los administradores forestales siempre han tenido que considerar la hidrología a la hora de tomar decisiones de gestión. Pero, a medida que los recursos se vuelven más limitados y aumenta cada vez más la demanda de agua, la gestión del agua cobrará inevitablemente cada vez mayor importancia en la toma de decisiones relacionadas con los bosques. Reconocer la importancia del nexo bosque-agua es el primer paso para incorporarlo a los procesos institucionales y encontrar soluciones para el agua que tengan su origen en los bosques.



© FAO/DANIEL HAYDIK

## Los bosques concebidos como soluciones naturales para el agua

*E. Springgay*

*Se necesita una transformación de los enfoques convencionales de gestión forestal a soluciones basadas en la naturaleza que hagan de los servicios ecosistémicos relacionados con el agua el objetivo principal.*

El crecimiento de la población, el aumento de la industrialización, el desarrollo urbano y la demanda de alimentos y bienes de consumo han provocado un cambio a gran escala en la cobertura y el uso de la tierra a nivel global, lo que a su vez ha causado cambios hidrológicos. También es cada vez más evidente que gran parte de la infraestructura de aguas grises creada por el hombre,<sup>1</sup> como es el caso de las represas,

tuberías, zanjas y bombas, ha contribuido a problemas mundiales y que los enfoques comerciales habituales para la gestión del agua son inadecuados a fin de asegurar el bienestar de las poblaciones humanas, la biodiversidad y los ecosistemas.

Se estima que el 65 % del agua que cae en la tierra se almacena en el suelo o se evapora del suelo y las plantas (Oki y Kanae, 2006), y el 95 % del agua del suelo se almacena dentro o por encima de las zonas de agua subterránea (Bockheim y Gennadiyev, 2010). Por lo tanto, los ecosistemas terrestres son importantes para

**Arriba: Los bosques representan una solución basada en la naturaleza para el agua, República Unida de Tanzania**

**Elaine Springgay** es oficial forestal del Departamento Forestal de la FAO en Roma, Italia.

<sup>1</sup> La infraestructura gris generalmente se refiere a proyectos de ingeniería que usan concreto y acero, la infraestructura verde depende de las plantas y los ecosistemas, y la infraestructura azul combina espacios verdes con una buena gestión del agua (Sonneveld *et al.*, 2018).

el equilibrio tierra-agua-energía, influyen en la disponibilidad de agua del suelo y de la humedad atmosférica y, por ende, afectan al clima (Huntington, 2006; Ellison *et al.*, 2017; Creed y van Noordwijk, 2018). Todos los bosques influyen en el agua (FAO, 2018b), desde los bosques nubosos y los humedales cubiertos de árboles que se encuentran aguas arriba hasta las tierras secas y bosques costeros aguas abajo. Se ha estimado que las cuencas forestadas proporcionan el 75 % de los recursos accesibles de agua dulce del mundo y que más de la mitad de la población de la Tierra depende de estos recursos hídricos para fines domésticos, agrícolas, industriales y ambientales (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Los bosques a veces se denominan infraestructura natural, y su gestión puede proporcionar «soluciones basadas en la naturaleza» para una variedad de desafíos sociales relacionados con el agua. En este artículo se analiza ese potencial.

#### **BOSQUES: INFRAESTRUCTURA NATURAL PARA EL AGUA**

Las soluciones basadas en la naturaleza son acciones que protegen, gestionan y restauran de manera sostenible los ecosistemas naturales y modificados de manera que aborden de manera eficaz y adaptativa los desafíos sociales y brinden beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad (Cohen-Shacham *et al.*, 2016). En la gestión del agua, las soluciones basadas en la naturaleza implican la gestión de los ecosistemas para imitar u optimizar los procesos naturales, como la vegetación, los suelos, los humedales, los espejos de agua e incluso los acuíferos subterráneos para el suministro y la regulación del agua. La adopción de soluciones para el agua basadas en la naturaleza requiere de un cambio transformador en el concepto de la gestión y planificación del agua, de forma tal que deje de orientarse a la demanda para concentrarse en la oferta, y donde los ecosistemas cruciales como los bosques se vean no solo como usuarios sino también como reguladores del agua dulce.

Las soluciones basadas en la naturaleza han sido objeto de mayor atención en los últimos años debido a su potencial para abordar la escasez de agua y contribuir al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el cumplimiento del Acuerdo de París sobre el cambio climático, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, las Metas de Biodiversidad de Aichi y otros compromisos internacionales. La infraestructura gris por sí sola será insuficiente para alcanzar las metas sociales, económicas y ambientales integradas en ellas. Por tanto, es esencial integrar estratégicamente las soluciones naturales, incluidas la infraestructura verde y azul, en los enfoques generales de gestión. La integración de soluciones basadas en la naturaleza es prometedora para abordar la escasez de agua a través de la gestión desde la perspectiva del suministro, especialmente mediante el aumento de la calidad del agua y la recarga del agua subterránea, que, en última instancia, es esencial para lograr la producción sostenible de alimentos, mejorar los asentamientos humanos, el acceso al suministro de agua y al saneamiento, reducir los riesgos hídricos y generar resiliencia a la variabilidad y el cambio climático (Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos [UNWWDR], 2018).

Se estima que será necesario invertir 10 billones de USD en infraestructura gris entre 2013 y 2030 para lograr una gestión adecuada del agua (Dobbs *et al.*, 2013). Las soluciones basadas en la naturaleza podrían reducir lo oneroso de la inversión y al mismo tiempo mejorar los resultados económicos, sociales y ambientales. Se estima que se han gastado alrededor de 24 000 millones de USD en infraestructura verde para el agua en 2015, lo que benefició a 487 millones de hectáreas de tierra (Bennet y Ruef, 2016). Si se presta mayor atención a la gestión del paisaje, incluida la gestión integrada de cuencas hidrográficas, la protección del suelo, la reforestación y la restauración ribereña,

se podrían reducir los costos operativos y de mantenimiento de la infraestructura gris (Echavarria *et al.*, 2015; Recuadro 1).

#### **La función de los bosques en la hidrología**

Todos los bosques afectan a la hidrología y, por lo tanto, también a su manejo. Los bosques y los árboles usan agua y brindan muchos servicios de aprovisionamiento, regulación, apoyo y ecosistemas culturales. Las áreas forestadas y los paisajes con árboles son, por ende, componentes integrales del ciclo del agua: regulan el flujo de la corriente, fomentan la recarga de aguas subterráneas y contribuyen al reciclaje del agua atmosférica, incluida la generación de nubes y la precipitación a través de la evapotranspiración. Las áreas boscosas y los paisajes con árboles también actúan como filtros naturales, reducen la erosión del suelo y la sedimentación de agua, con lo que proporcionan agua de alta calidad para consumo humano, industrial y del medio ambiente.

Las decisiones sobre el uso de la tierra pueden tener consecuencias considerables para los recursos hídricos, las comunidades, las economías y los entornos en lugares distantes (río abajo y en la dirección del viento). La pérdida de bosques naturales puede aumentar el rendimiento del agua a corto plazo, pero tener impactos negativos a largo plazo en la cantidad y calidad del agua. Por ejemplo, la evapotranspiración de las cuencas del río Amazonas y del río Congo es una fuente muy importante de precipitación (alrededor del 50 al 70 %) en la cuenca del Río de la Plata y el Sáhel, respectivamente (Van der Ent *et al.*, 2010; Ellison *et al.*, 2017). La pérdida de bosques a gran escala y la conversión de la tierra afectan estos procesos naturales, lo que reduce la cobertura de nubes y las precipitaciones en las zonas ubicadas en la dirección del viento (Ellison *et al.*, 2017; Creed y van Noordwijk, 2018).

La restauración forestal y la plantación de árboles probablemente mejorarán la calidad del agua, y los efectos de tales intervenciones dependerán de las especies,

### Recuadro 1

#### Manejo forestal: solución basada en la naturaleza para el suministro de agua urbana

El 90 % de las principales ciudades depende de las cuencas hidrográficas forestadas para su abastecimiento de agua (McDonald y Shemie, 2014), y un tercio de las ciudades más grandes del mundo, incluidas Bogotá, Johannesburgo, Nueva York, Tokio y Viena, obtiene una gran proporción de su agua potable de áreas forestales protegidas (Dudley y Stolton, 2003).

La protección del agua de manantial, lo que incluye la restauración forestal y la presencia de árboles en tierras agrícolas, podría mejorar la calidad del agua para más de 1 700 millones de personas que viven en ciudades, a un costo de menos de USD 2 por persona al año (lo que se compensaría con el ahorro derivado de un menor gasto en el tratamiento del agua) (Banco Mundial, 2012; Abell *et al.*, 2017). Por ejemplo, una iniciativa basada en los bosques para reducir la contaminación del agua de la agricultura ha salvado a la Ciudad de Nueva York de la necesidad de instalar una planta de tratamiento (a un costo estimado de 8 000 millones a 10 000 millones de USD), así como también una cifra adicional de 300 millones de USD por año en costos operativos y de mantenimiento. La ciudad de Nueva York tiene el mayor suministro de agua sin filtrar en los Estados Unidos de América (Abell *et al.*, 2017). Del mismo modo, el valor estimado de conservación del agua de los bosques de Beijing es de USD 632 millones (aproximadamente USD 689 por hectárea) por año (Zhang *et al.*, 2010).

Los bosques se utilizan como soluciones basadas en la naturaleza para los peligros naturales relacionados con el agua. En la cuenca hidrográfica de la costa del Pacífico de Perú, donde se han perdido aproximadamente dos tercios de la cubierta arbórea histórica (WRI, 2017), la integración de la infraestructura verde y gris podría reducir el déficit de la estación seca de Lima en un 90 %, y esto sería más rentable que implementar solo la infraestructura gris (Gammie y de Bievre, 2015). Asimismo, la restauración forestal local se está utilizando en Málaga, España, para mitigar el riesgo de inundaciones.

A medida que crecen las poblaciones urbanas, los ecosistemas y sus servicios se llevarán cada vez más a sus límites (Kalantari *et al.*, 2018). Esto es particularmente cierto en las ciudades de más rápido crecimiento: ciudades pequeñas y medianas que sufren expansiones rápidas y en su mayoría sin planificar de sus áreas urbanas, pero que pueden necesitar depender cada vez más de las cuencas para el abastecimiento de agua. De las tres ciudades de mayor crecimiento en África y Asia (según datos de Naciones Unidas), una revisión inédita de la FAO ha determinado que solo Kampala (Uganda), reconoce los servicios hídricos que brindan los bosques.

El potencial del manejo forestal como solución basada en la naturaleza para mitigar algunos de los desafíos del desarrollo urbano debe considerarse en las estrategias de gestión y ordenación territorial (Kalantari *et al.*, 2018). Para crecer de manera sostenible, las ciudades deberán desempeñar un papel activo en la protección de las fuentes de agua de las que dependen.



**Niños cruzan un río en Filipinas. Es importante gestionar los bosques y los árboles teniendo en cuenta los servicios del ecosistema hídrico y maximizar los beneficios forestales para el agua**

© FAO/JAKE SALVADOR

el régimen de manejo y la escala temporal y espacial. Se estima que la conservación y restauración de la tierra, incluida la protección forestal, la reforestación y la agrosilvicultura, podrían conducir a una reducción del 10 % o más en sedimentos y nutrientes en las cuencas hidrográficas (Abell *et al.*, 2017). Sin embargo, se debe tener cuidado para garantizar que el logro de los objetivos de calidad del agua no genere contrapartidas inaceptables en el rendimiento del agua.

Además de sus servicios ecosistémicos relacionados con el agua, los bosques proporcionan un hábitat para peces y otras especies acuáticas, los que, a su vez, desempeñan un papel en garantizar la funcionalidad de estos ecosistemas. La cantidad, calidad, temperatura y conectividad de los recursos hídricos influyen en las poblaciones de peces y en la biodiversidad acuática. Los cambios en estos factores pueden afectar la riqueza de especies, la uniformidad y el endemismo, lo que influye en la biodiversidad y los sistemas alimentarios de las poblaciones dependientes.

Muchos peces y otros organismos acuáticos son sensibles a la degradación del ecosistema, como ocurre a través de la eutrofización, la degradación y fragmentación del hábitat, la acidificación y los cambios de temperatura y clima (FAO, 2018a). Por ejemplo, la cantidad de especies de agua dulce amenazadas y en peligro ha aumentado debido a la precaria salud de los sistemas de aguas continentales (FAO, 2018a). El Índice Planeta Vivo (LPI) indica una disminución del 83 % en las poblaciones de especies de agua dulce desde 1970 (WWF, 2018).

Los bosques y los árboles pueden ayudar a mitigar inundaciones leves a moderadas, controlar las avalanchas, combatir la desertificación y reducir las marejadas ciclónicas. Por ejemplo, los bosques de manglares actúan como escudos protectores contra la erosión de las olas y el viento, las marejadas ciclónicas y otros peligros costeros (FAO, 2007; Nagabhatla, Springgay y Dudley, 2018), y los árboles en las tierras secas ayudan a reducir la

erosión del suelo y la sequía al capturar agua de niebla, reducir la escorrentía de aguas superficiales y promover la recarga de aguas subterráneas (Ellison *et al.*, 2017). Los cambios en el uso de la tierra, como la deforestación a gran escala o, por el contrario, la restauración forestal, pueden influir en la resiliencia de los paisajes frente a los peligros naturales relacionados con el agua.

Por lo tanto, es importante gestionar los bosques y los árboles teniendo en cuenta los servicios de los ecosistemas acuáticos y maximizar los beneficios forestales para el agua y mitigar los impactos negativos. Una variedad de decisiones de manejo, como la selección de especies, las densidades de población y la ubicación en el paisaje, pueden tener efectos importantes en la hidrología. La gestión de los bosques para obtener múltiples beneficios es la base del manejo forestal sostenible, pero requiere comprender y reconocer las contrapartidas que implica. Por ejemplo, las especies exóticas de rápido crecimiento que se plantan para el secuestro de biomasa y carbono pueden tener un impacto positivo en la calidad del agua, pero podrían reducir ampliamente el suministro de agua. La reducción de la densidad arbórea, la prolongación de los ciclos de rotación y la conservación de los bosques nativos en las zonas de amortiguamiento ribereñas podrían mitigar estos efectos negativos.

#### EL AGUA: UN DESAFÍO MUNDIAL

Davidson (2014) estimó que, desde el siglo XVII se ha perdido hasta el 87 % de todos los humedales del mundo,<sup>2</sup> incluidos los humedales cubiertos de árboles y las turberas. Desde 1900 se ha destruido hasta el 71 % de todos los humedales. El consumo mundial de agua se ha multiplicado por seis en los últimos 100 años, en correlación directa con el crecimiento de la población (Wada *et al.*, 2016); El consumo de agua continúa creciendo a aproximadamente 1 % por año (FAO, sin fecha). Se prevé que la población mundial aumentará de 7 700 millones en 2017 a una cifra que oscilará entre 9 400 millones y 10 200 millones de personas en 2050, y

dos tercios de ellas vivirán en ciudades (Naciones Unidas, 2018). Se proyecta que la demanda mundial de agua aumentará en un 20-30 % para 2050 debido al aumento de la población, el desarrollo económico asociado, los patrones de consumo cambiantes, el cambio en el uso del suelo y el cambio climático, entre otros factores (Burek *et al.*, 2016; UNWWDR, 2018).

En una hipótesis de situación sin cambios, se proyecta que el mundo enfrentará un déficit de agua del 40 % para 2050 (WWAP, 2015). El uso de agua doméstica aumentará considerablemente en todas las regiones, particularmente en África y Asia, donde se espera que la demanda doméstica se triplique, y en América Central y del Sur, donde se estima que la demanda futura será el doble de los valores actuales (Burek *et al.*, 2016). Al mismo tiempo, se prevé que la demanda de alimentos aumentará en un 60 %, lo que requerirá de más tierra para la producción de alimentos y provocará impactos en el suelo y los recursos hídricos, lo que probablemente redundará en una mayor degradación (FAO, 2011b). Entretanto, menos del 1 % del total de agua dulce disponible se asigna para mantener la salud de los ecosistemas que sirven como infraestructura natural para el agua (Boberg, 2005; Nagabhatla, Springgay y Dudley, 2018).

Aproximadamente el 80 % de la población mundial sufre de una escasez de agua moderada a severa (Mekonnen y Hoekstra, 2016). Casi la mitad de la población mundial ya vive en áreas con potencial escasez de agua al menos un mes por año, y se estima que para el año 2050 esto aumentará, con lo que afectará a un total que oscilará entre 4 800 millones

<sup>2</sup> Según la Convención de Ramsar sobre Humedales (2016), los humedales «son extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros». «También podrán incorporar zonas ribereñas y costeras adyacentes a los humedales, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja».



**Parque forestal en Hanoi, Viet Nam. Los bosques y el agua van de la mano**

© FAO/JOHN MANUALL BALHILLAS

y 5 700 millones de personas, más de la mitad de la población mundial proyectada (Burek *et al.*, 2016).

La contaminación del agua ha empeorado en casi todos los ríos de África, Asia y América Latina desde la década de 1990 (PNUMA, 2016; UNWWDR, 2018), y se prevé que la degradación de los recursos hídricos aumentará en los próximos decenios, lo que amenazaré a la salud y el bienestar humanos, el medio ambiente y el desarrollo sostenible (Veolia e IFPRI, 2015). Por ejemplo, aproximadamente el 80 % de todas las aguas residuales industriales y municipales se libera al medio ambiente sin tratamiento (WWAP, 2017). Los cambios en las cargas sedimentarias y la temperatura del agua pueden afectar significativamente a las poblaciones de peces y a la biodiversidad acuática, lo que puede afectar aún más a las cadenas alimentarias que de ellas dependen y a la seguridad alimentaria (FAO, 2018a).

Los cambios en la cobertura y el uso de la tierra, el crecimiento demográfico y la frecuencia e intensidad de los acontecimientos extremos asociados con un clima cambiante aumentan el riesgo de que se produzcan desastres relacionados con el agua. Desde 1992, las inundaciones, las

sequías y las tormentas han afectado a 4 200 millones de personas y han causado daños por valor de 1,3 billones de USD en todo el mundo (UNESCAP/UNISDR, 2012). Las inundaciones se han vuelto más frecuentes, y aumentaron de un promedio de 127 ocurrencias por año entre 1995 y 2004 a 171 ocurrencias por año entre 2005 y 2014. Las inundaciones han representado el 47 % de todos los desastres relacionados con el clima desde 1995 y han afectado a 2 300 millones de personas (CRED/UNISDR, 2015).

Se estima que las inundaciones, sequías y tormentas provocan pérdidas globales promedio de USD 86 000 millones por año en todos los sectores económicos, y África y Asia son las zonas más afectadas en términos de muertes, comunidades dañadas y pérdidas económicas. Se prevé que el costo de las inundaciones, sequías y tormentas en todo el mundo aumentará a una cifra que oscilará entre USD 200 000 millones y USD 400 000 millones por año para 2030 (OCDE, 2015).

Los impactos de los desastres podrían mitigarse si la conversión de tierras y bosques, la expansión y planificación urbanas y la intensificación de la producción de alimentos tienen en cuenta las

funciones ecológicas y apuntan a mejorar los servicios del ecosistema, en lugar de degradarlos.

#### **PANORAMA GLOBAL DE LOS BOSQUES Y EL AGUA**

Se estima que el 31 % de la superficie terrestre mundial está cubierta de bosques, de los cuales el 65 % está degradado (FAO, 2010, 2015). El Instituto de Recursos Mundiales (WRI) calcula las tendencias de la cubierta arbórea por cuenca hidrográfica principal,<sup>3</sup> así como el riesgo relacionado con el agua (es decir, erosión, incendio forestal y estrés hídrico de referencia)<sup>4</sup>. Antes del año 2000, las cuencas hidrográficas tenían un promedio de 68 % de cobertura arbórea. Sin embargo, este porcentaje se había reducido al 31 % en 2000 y al 29 % en 2015. Esta pérdida de la cubierta arbórea no se ha distribuido de manera necesariamente uniforme: aproximadamente el 38 % de las cuencas

<sup>3</sup> La FAO divide al mundo en 230 grandes cuencas de captación o cuencas hidrográficas (FAO, 2011a).

<sup>4</sup> El estrés hídrico de referencia se define como la relación entre la extracción total de agua y el abastecimiento total de agua renovable en una zona determinada (WRI, 2017).

## Recuadro 2 Incentivar el manejo bosque-agua

Los sistemas de pago por servicios ecosistémicos (PSE) constituyen un mecanismo de incentivo potencial para una mejor gestión ambiental. Aplicados a la gestión de los bosques y el agua, los sistemas de PSE requieren «compradores» de servicios (generalmente, comunidades e industrias aguas abajo) y «proveedores» de servicios (comunidades aguas arriba que se consideran administradores forestales). Sin embargo, los sistemas de PSE tienen limitaciones: por ejemplo, dependen de la compleja valoración de los servicios del ecosistema, a menudo requieren acuerdos formales de tenencia de la tierra, dependen de que exista una prueba de que los servicios se prestan, y pueden tener implicaciones para la dinámica del poder socioeconómico. Estas limitaciones pueden explicar la falta de sistemas exitosos de pagos por servicios ecosistémicos.

También existen otros mecanismos de incentivos. Por ejemplo, los «acuerdos recíprocos de cuencas hidrográficas» son versiones simples y populares de transferencias condicionales que ayudan a los administradores de tierras ubicados en zonas de cuencas superiores a gestionar de manera sostenible sus recursos forestales e hídricos de formas que los benefician tanto a sí mismos como a los usuarios aguas abajo. Al igual que los PSE, los acuerdos recíprocos de cuencas dependen de que haya una comprensión de que se están prestando servicios hidrológicos, y se basan en condiciones reconocidas de tenencia a nivel local (es decir, quién posee, controla y otorga acceso a los bosques de la cuenca). Sin embargo, a diferencia de los sistemas de PSE, los acuerdos recíprocos de cuencas ofrecen recompensas basadas en la demanda en lugar de incentivos monetarios, y la compensación se basa en necesidades específicas que diversifican las fuentes de ingresos. Por ejemplo, los usuarios ubicados aguas abajo podrían brindar a los propietarios de tierras situadas aguas arriba mejores opciones para sus medios de vida, como colmenas, plántulas de árboles frutales y equipos de riego superiores (Porrás y Asquith, 2018).

En el Estado Plurinacional de Bolivia se han implementado con éxito los acuerdos de cuenca recíproca, y más de 270 000 usuarios de agua han firmado convenios con 6 871 propietarios de tierras ubicadas aguas arriba para conservar 367 148 hectáreas de bosques productores de agua. A cambio, los acuerdos de conservación basados en la reciprocidad proporcionan fondos suficientes para proyectos de desarrollo alternativo, tales como riego por goteo, producción de frutas y miel y un mejor manejo del ganado. Cincuenta y dos municipios del país han adoptado dichos acuerdos desde 2003 (Fundación Natura, 2019).

El éxito de los acuerdos recíprocos de cuencas hidrográficas en Bolivia puede deberse en parte al hecho de que los convenios se aplicaron en zonas de bosques nubosos: la gente puede constatar que la deforestación reduce los flujos de la estación seca y que, al mejorarse el manejo del ganado restringiendo el movimiento de los animales, se mejora la calidad del agua. En tales casos, se puede demostrar fácilmente que las medidas de conservación aguas arriba contribuyen a la protección de los servicios de cuencas hídricas, sin que sea necesario efectuar evaluaciones hidrológicas exhaustivas y costosas.

Por otra parte, la escala y las percepciones locales de los enlaces bosque-agua son importantes. Las cuencas hidrográficas que son objeto de los acuerdos son pequeñas y hay un número limitado de usos del suelo y partes interesadas. Por lo tanto, es más fácil ver los beneficios de las mejoras en la gestión, y los administradores de la tierra y los usuarios del agua pueden identificarse fácilmente. Adicionalmente, es probable que el mecanismo tenga más éxito en zonas donde las partes interesadas locales ya comprenden y perciben los vínculos entre el manejo forestal y el mantenimiento de ecosistemas saludables de agua dulce.

hidrográficas había perdido más de la mitad de su cubierta arbórea en 2000, y esa cifra creció al 40 % en 2014 (WRI, 2017)..

A pesar del creciente reconocimiento de la influencia e importancia de los bosques para el agua, solo el 25 % de los bosques a escala mundial se somete a un manejo que tiene la conservación del suelo y el agua como objetivos principales (Gráfico 1). Adicionalmente, un poco menos del 10 % de los bosques se maneja principalmente para la conservación del suelo y el agua, lo que incluye alrededor de un 2 % que se gestiona principalmente para la obtención de agua limpia y alrededor del 1 % para la estabilización costera y el control de

la erosión del suelo (FAO, 2015). Solo 13 países dan cuenta de que todos sus bosques se gestionan teniendo en cuenta la conservación del suelo y el agua.

Más del 70 % de los bosques en América del Norte se manejan teniendo en cuenta la conservación del suelo y el agua; por ejemplo, el Servicio Forestal de los Estados Unidos se define como el administrador del recurso hídrico de mayor envergadura del país (Servicio Forestal de los Estados Unidos, 2017). Europa queda por debajo del promedio mundial de manejo de bosques para la conservación del suelo y el agua porque la mayoría de las tierras forestales son de propiedad privada y no se tienen

en cuenta en los informes nacionales. Sin embargo, un informe reciente proporcionó amplia evidencia de enfoques integrados para el manejo del agua forestal en Europa (FAO y UNECE, 2018). No obstante, en muchos países de los trópicos y subtrópicos hay una tendencia negativa en el área de bosques que se gestionan para la conservación del suelo y el agua, y también hay una deforestación permanente. Aunque todos los bosques repercuten sobre la hidrología, la pérdida de bosques tropicales y subtropicales puede afectar desproporcionadamente el ciclo hidrológico global (FAO, 2018b).

La disminución de la cubierta arbórea

puede generar un aumento de la erosión y degradación del suelo y, a su vez, una reducción en la calidad del agua. En algunos casos, la pérdida de la cubierta arbórea también se asocia con una menor disponibilidad de agua, especialmente cuando los bosques naturales se convierten a otros usos de la tierra que degradan o compactan los suelos, lo que reduce la infiltración del suelo, la capacidad de almacenamiento de agua y la recarga de aguas subterráneas (Bruijnzeel, 2014; Ellison *et al.*, 2017; FAO, 2018b). La pérdida y degradación de los bosques asociada con la conversión de la tierra y las prácticas de gestión deficiente de la tierra también pueden aumentar el riesgo y el daño de los

peligros relacionados con el agua, como inundaciones, incendios forestales, deslizamientos de tierra y mareas de tormenta. De las cuencas hidrográficas que habían perdido al menos la mitad de la cubierta arbórea en 2015, el 88 % presentaba un riesgo de erosión de medio a muy alto, el 68 % tenía un riesgo de incendio forestal de medio a muy alto y el 48 % tenía un riesgo de medio a muy alto de estrés hídrico basal (WRI, 2017) (Gráfico 2).

#### APROVECHAR EL MOMENTO INTERNACIONAL

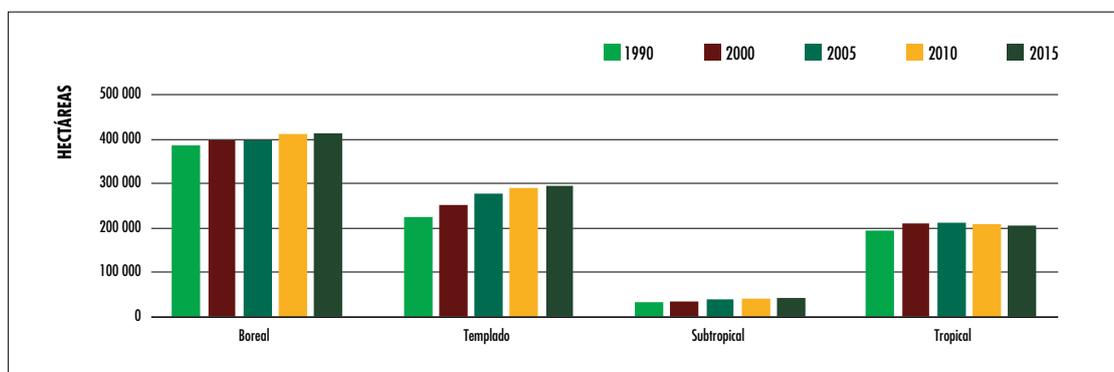
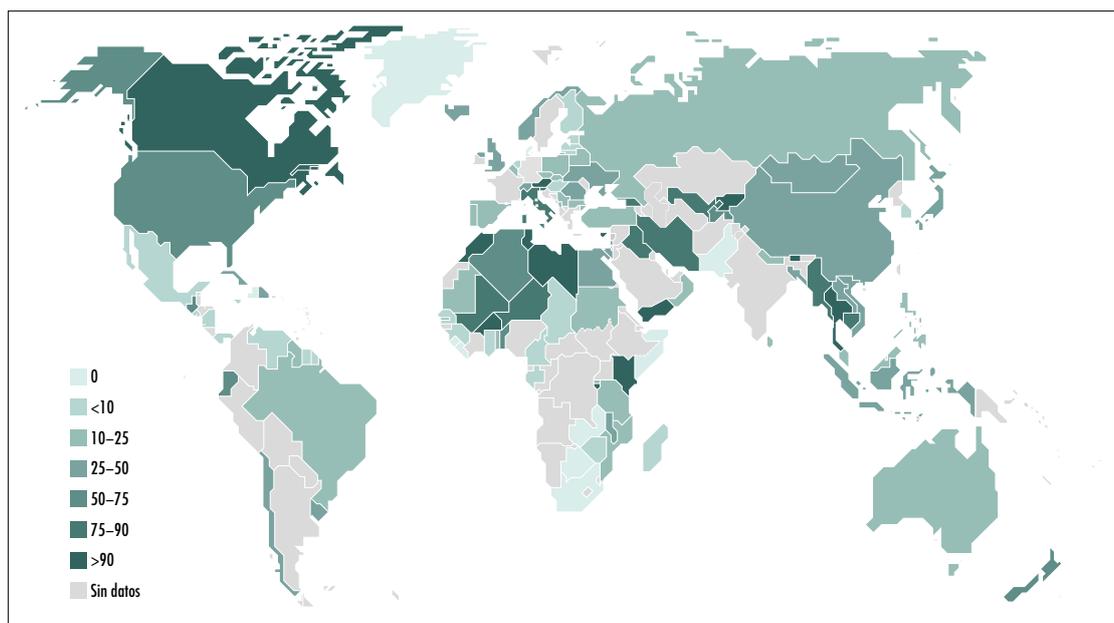
El concepto del manejo forestal como solución basada en la naturaleza para el agua no es nuevo. La relación bosque-agua es un

tema transversal, y ha cobrado mayor atención en las últimas dos décadas (Gráfico 3). El Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas (2021–2030) indudablemente le dará nuevos bríos al perfil del manejo forestal como una solución basada en la naturaleza para el agua debido a los amplios impactos potenciales de la restauración en la hidrología y la necesidad de tenerlos en cuenta en la planificación de iniciativas de restauración.

#### Objetivos de Desarrollo Sostenible

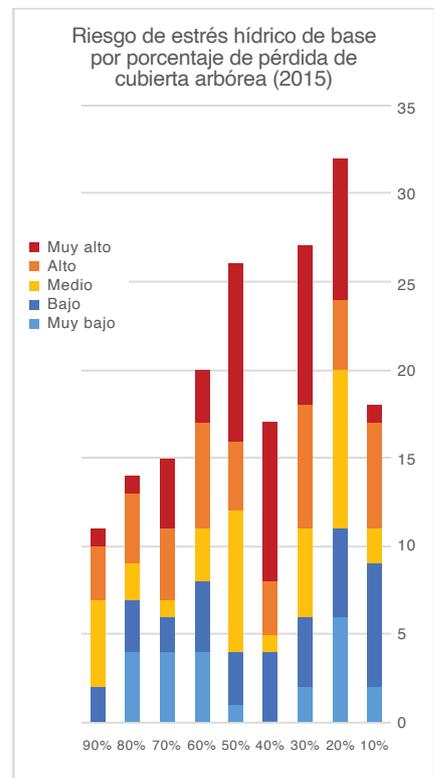
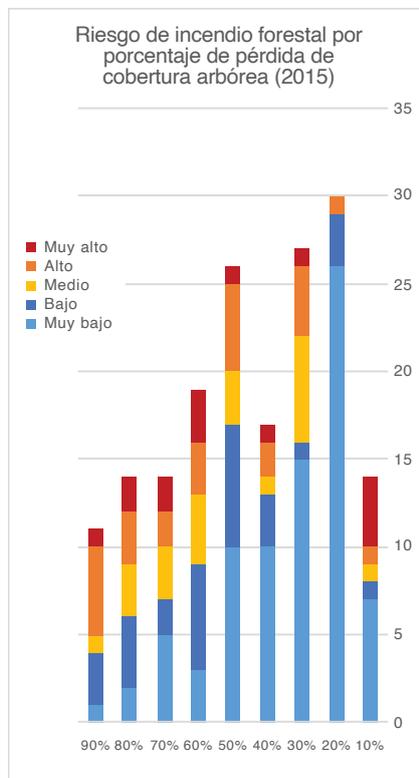
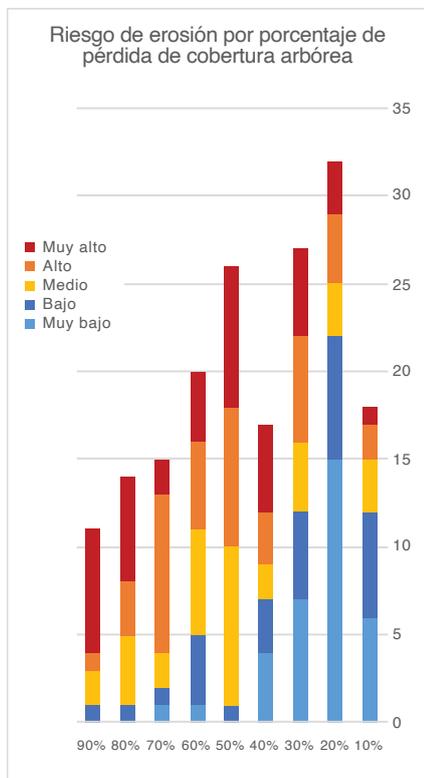
La interconexión entre bosques y agua se menciona explícitamente en dos ODS: el ODS 6 («Agua limpia y saneamiento») y el ODS 15 («Vida de ecosistemas terrestres»).

1  
Porcentaje de área de bosques para la conservación del suelo y el agua por país y tipo de bosque



Fuente: FAO (2018b).

**2**  
**Riesgo de cuencas por erosión y estrés hídrico de base, por porcentaje de pérdida de cobertura arbórea**



Fuente: WRI (2017).

En la meta 6.6 de los ODS, los bosques se reconocen como ecosistemas relacionados con el agua; de manera similar, la meta 15.1 de los ODS alude a los bosques como ecosistemas de agua dulce. Aunque los indicadores para estos objetivos no miden las interrelaciones entre los bosques y el agua, existen metodologías para analizar esta relación, y los países podrían utilizarlas para comprender mejor e informar sobre la forma en que los bosques sirven como infraestructura natural para el agua. Por ejemplo, además del indicador utilizado en la Evaluación de los recursos forestales mundiales de la FAO («área de bosques gestionados para la conservación del suelo y el agua»), Ramsar (2019) especifica otras zonas forestadas o cubiertas por árboles, como es el caso de las turberas o los humedales. Hay alrededor de 123 millones de hectáreas de bosque, lo que equivale a aproximadamente el 2,9 %

de la superficie forestal del mundo, que se clasifican como sitios Ramsar.

**Contribuciones determinadas a nivel nacional previstas**

Los bosques y los recursos hídricos ocupan un lugar destacado en las contribuciones de los países determinadas a nivel nacional al Acuerdo de París sobre el cambio climático. En el 88 % de las contribuciones de los países originalmente «previstas» y determinadas a nivel nacional se hizo referencia a los bosques como parte del uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura, y en el 77 % se hizo referencia al agua (French Water Partnership y Coalition Eau, 2016). El 49 % de las 168 contribuciones previstas y determinadas a nivel nacional alude a las interrelaciones entre la gestión de los bosques y el agua, lo que incluye las referencias a la gestión integrada de los

recursos (hídricos) y los servicios de los ecosistemas hídricos proporcionados por los bosques y manglares, y la mayoría de estas referencias se incluye en medidas de adaptación. De los países que indican sus contribuciones determinadas a nivel nacional, los de África, Asia y América Latina son los que reconocen más la importancia de la gestión forestal como una solución natural para el agua (Springgay *et al.*, de próxima publicación).

Aunque las contribuciones determinadas a nivel nacional no implican compromisos de recursos hasta 2020, el fuerte reconocimiento de las relaciones bosque-agua que ellas contemplan sugiere que existe una voluntad política considerable para abordar el problema, lo que ofrece una oportunidad para promover la integración de los bosques como infraestructura natural en la gestión del agua.

3

*Iniciativas recientes de política forestal mundial que podrían alentar a instaurar soluciones para el agua basadas en la naturaleza*

### Objetivos de desarrollo sostenible

- ODS 6: Agua limpia y saneamiento
- ODS 13: Acción por el clima
- ODS 14 - Vida submarina
- ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres
- También se aplican otros ODS, incluido el ODS 1 (Fin de la pobreza); el ODS 2 (Hambre cero); el ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico) y el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles).

### Punto Focal Nacional de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.

- Objetivo estratégico 1: Mejorar la condición de los ecosistemas afectados, combatir la desertificación/degradación de la tierra, promover la gestión sostenible de la tierra y contribuir a la neutralidad de la degradación de la tierra.
- Objetivo estratégico 2: Mejorar las condiciones de vida de las poblaciones afectadas.
- Objetivo estratégico 3: mitigar, adaptarse y gestionar los efectos de la sequía para mejorar la resiliencia de las poblaciones y los ecosistemas vulnerables.
- Objetivo estratégico 4: Generar beneficios mundiales mediante la aplicación efectiva de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CLD).

### Metas de Aichi del Convenio sobre la Diversidad Biológica

- Meta 1: Las personas son conscientes de los valores de la biodiversidad y los pasos que pueden tomar para conservarla y utilizarla de manera sostenible.
- Meta 4: Producción y consumo sostenibles con un uso de los recursos naturales cuyo impacto esté dentro de límites ecológicos seguros.
- Meta 5: Reducir por lo menos a la mitad y, donde resulte factible, reducir a un valor cercano a cero el ritmo de pérdida de todos los hábitats naturales, incluidos los bosques, y disminuir de manera considerable la degradación y fragmentación.
- Meta 7: Las zonas destinadas a agricultura, acuicultura y silvicultura se gestionan de manera sostenible, lo que asegura la conservación de la diversidad biológica.
- Meta 11: Se conservan las aguas terrestres y continentales, y las zonas costeras y marinas de especial importancia para la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas.
- Meta 14: Se restauran y protegen los ecosistemas que brindan servicios esenciales, incluidos los servicios relacionados con el agua y contribuyen a la salud, los medios de vida y el bienestar.
- Meta 15: Se mejora la resiliencia de los ecosistemas y la contribución de la biodiversidad a las reservas de carbono mediante la conservación y la restauración.

### Otros procesos internacionales

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: los países han asumido compromisos bajo el Acuerdo de París a través de sus contribuciones determinadas a nivel nacional y planes nacionales de adaptación.
- Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres: Prioridad 1 - Comprender el riesgo de desastres; Prioridad 2 - Fortalecimiento de la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar el riesgo de desastres. Prioridad 4 - Mejorar la preparación ante los desastres para lograr una respuesta eficaz y poder «reconstruir mejor» en las etapas de recuperación, rehabilitación y reconstrucción.
- Convención de Ramsar sobre Humedales, Meta Estratégica 1: Abordar los factores que impulsan la pérdida y degradación de humedales. Meta estratégica 3 - Usar todos los humedales sabiamente.
- Restauración del paisaje forestal: los países se han comprometido con la restauración de tierras para 2030, y muchos de ellos tienen objetivos relacionados con el agua.

## LOS DESAFÍOS MUNDIALES NECESITAN SOLUCIONES

### INTEGRADAS Y TRANSVERSALES

El cambio en el paisaje modifica la hidrología. Esto se da en todos los escenarios, ya sea que la pérdida de la cubierta arbórea provoque un cambio en el uso del suelo o que un paisaje degradado se restablezca mediante la reforestación o la forestación. Para tener plenamente en cuenta los impactos del cambio de paisaje relacionado con los bosques y su repercusión en el agua a la hora de tomar decisiones de gestión de la tierra es necesario tener en cuenta escalas temporales y espaciales, así como objetivos a corto y largo plazo. Para hacerlo se necesita una comprensión científica del contexto, incluido el bienestar y las necesidades de las comunidades y los ecosistemas.

Es posible que se requiera una transformación en el enfoque para lograr una transición rápida de las opciones tradicionales de manejo forestal, como la silvicultura para la producción o conservación de madera, a regímenes en los cuales la prestación de servicios ecosistémicos relacionados con el agua sea el objetivo principal. Las soluciones basadas en la naturaleza no necesariamente requieren recursos financieros adicionales; más bien, tienen el potencial de permitir el uso más eficaz del financiamiento existente (UNWWDR, 2018) al aumentar el valor de una multiplicidad de bienes y servicios forestales que incluyen el agua, y reducir las inversiones en infraestructura gris.

Las siguientes recomendaciones se hacen para facilitar la transición rápida hacia soluciones para el agua basadas en la naturaleza.

- **Implementar gestión y pautas basadas en la ciencia.** La gestión forestal orientada a los servicios de los ecosistemas hídricos no solo debe tener en cuenta las condiciones ambientales y socioeconómicas actuales, sino también las proyecciones futuras relacionadas con la planificación del uso de la tierra y los escenarios climáticos. El objetivo de los ciclos de selección, espaciamiento,
- raleo y rotación de especies debería ser optimizar los servicios de los ecosistemas hídricos, el almacenamiento de biomasa y carbono y manejar las posibles compensaciones. Existen ejemplos de manejo del paisaje (como la gestión basada en el ecosistema) que priorizan la integridad y funcionalidad del ecosistema, y estos podrían emplearse e integrarse con mayor amplitud.
- **Agrupar los beneficios en esquemas para compensar mejor a los propietarios y administradores por sus prácticas de gestión del agua.** La gestión de los bosques para obtener agua puede producir una amplia gama de otros bienes y servicios, incluidos el secuestro del carbono, la conservación de la biodiversidad, los servicios culturales (por ejemplo, educación y recreación) y los productos forestales madereros y no madereros. La agrupación de los múltiples beneficios de los bosques es un medio rentable para aumentar las oportunidades de ingresos de las comunidades y generar una resiliencia social y ambiental (FAO y CEPE, 2018). Un desafío clave de la administración es optimizar los múltiples beneficios y minimizar las contrapartidas.
- **Aumentar la conectividad dentro de los paisajes y entre ellos.** La hidrología conecta paisajes, lo que incluye los espejos de agua ubicados aguas arriba y aguas abajo y los ecosistemas terrestres relacionados. El agua atmosférica interconecta paisajes a escala continental. La conservación y restauración de bosques de tierras altas y turberas, el establecimiento de redes ribereñas y la restauración de los humedales y cursos de agua serpenteantes ayudarán a mantener la funcionalidad hidrológica de los paisajes, y las áreas restauradas también funcionarán como corredores de biodiversidad para especies terrestres y acuáticas.
- **Intensificar en gran medida la colaboración entre sectores.** Es necesario lograr la integración de la infraestructura natural y artificial para abordar

los desafíos mundiales del agua, la tierra y las ciudades de manera eficaz. Esto requiere que la silvicultura colabore con otros sectores, incluidos el agua, la agricultura, la planificación urbana, la gestión del riesgo de desastres y la energía. La colaboración entre los ministerios de los gobiernos plantea desafíos bien conocidos; a nivel local, por otro lado, muchas partes interesadas (gobiernos, propietarios y empresas) participan en múltiples sectores como administradores de tierras y bosques y los recursos hídricos asociados. ¿Es posible interactuar con otros sectores sin que ello implique luchas por el control jurisdiccional? El sector forestal debería considerar la comercialización de sus habilidades en el manejo forestal y la planificación a largo plazo para otros sectores que dependen del manejo sostenible de los bosques y los árboles como una solución basada en la naturaleza para los inmensos desafíos que afrontan nuestros recursos hídricos. ♦



## Referencias

- Abell, R., Asquith, N., Boccaletti, G., Bremer, L., Chapin, E., Erickson-Quiroz, A. y Higgins, J., et al.** 2017. *Beyond the source: the environmental, economic and community benefits of source water protection*. Arlington, EE.UU., The Nature Conservancy.
- Banco Mundial.** 2012. *Inclusive green growth: the pathway to sustainable development*. Washington, DC.
- Bennett, G. y Ruef, F.** 2016. *Alliances for Green Infrastructure: State of Watershed Investment 2016*. Washington DC, Forest Trends Ecosystem Marketplace (disponible en [www.forest-trends.org/documents/files/doc\\_5463.pdf](http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_5463.pdf)).
- Biao, Z., Wenhua, L., Gaodi, X. y Yu, X.** 2010. Water conservation of forest ecosystem in

- Beijing and its value. *Ecological Economics*, 69 (7): 1416–1426.
- Boberg, J.** 2005. Freshwater availability. En: J. Boberg, *Liquid assets: how demographic changes and water management policies affect freshwater resources*, pp. 15–28. Santa Monica, Arlington y Pittsburgh, EE.UU., RAND Corporation.
- Bockheim, J.G. y Gennadiyev, A.N.** 2010. Soil-factorial models and earth-system science: a review. *Geoderma*, 159(3-4): 243–51.
- Bruijnzeel, L.A.** 2014. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104: 185–228.
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M.T., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L.F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B. y Wiberg, D.** 2016. Water futures and solution: fast track initiative (final report). Documento de trabajo del IIASA. Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. y Maginnis, S., eds.** 2016. Nature-based solutions to address global societal challenges. Gland, Suiza, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
- CRED y UNISDR.** 2015. The human cost of weather-related disasters 1995–2015. Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED) y Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR).
- Creed, I.F. y van Noordwijk, M., eds.** 2018. Forest and water on a changing planet: vulnerability, adaptation and governance opportunities. *A global assessment report*. IUFRO World Series, Volumen 38. Viena, Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO).
- Dobbs, R., Pohl, H., Lin, D., Mischke, J., Garemo, N., Hexter, J., Matzinger, S., Palter, R. y Nanavatty, R.** 2013. *Infrastructure productivity: how to save \$1 trillion a year*. McKinsey Global Institute.
- Dudley, N. y Stolton, S.** 2003. *Running pure: the importance of forest protected areas to drinking water*. A research report for the World Bank and WWF Alliance for Forest Conservation and Sustainable Use. Banco Mundial, Washington, DC.
- Davidson, N.C.** 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10): 934–941.
- Echavarría, M., Zavala, P., Coronel, L., Montalvo, T. y Aguirre, L.M.** 2015. *Green infrastructure in the drinking water sector in Latin America and the Caribbean: trends, challenges, and opportunities*.
- Ellison, D., Morris, C.E., Locatelli, B.D., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D. y Gutierrez, V.** 2017. Trees, forests and water: cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43: 51–61.
- FAO.** 2007. *Mangroves of Asia 1980–2005. Country reports*. Documento de Trabajo N.º 137 del Programa de Evaluación de los Recursos Forestales. Roma.
- FAO.** 2010. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Informe principal. Estudio FAO: Montes N.º 163. Roma.
- FAO.** 2011a. World map of the major hydrological basins (derivado de HydroSHEDS).
- FAO.** 2011b. *Save and grow: a policy maker's guide to the sustainable intensification of the smallholder crop production*. Roma.
- FAO.** 2015. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015*. Roma.
- FAO.** 2018a. *Review of the State of the World Fishery Resources: inland fisheries*. FAO Fisheries and Aquaculture Circular N.º C942 Rev.3. Roma.
- FAO.** 2018b. *The State of the World's Forests 2018: Forest pathways to sustainable development*. Roma (disponible en [www.fao.org/3/I9535EN/i9535en.pdf](http://www.fao.org/3/I9535EN/i9535en.pdf)).
- FAO.** Sin fecha. AQUASTAT [en Internet]. FAO. [Citado en junio de 2019]. [fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm)
- FAO y UNECE.** 2018. *Forests and water: valuation and payments for forest ecosystem services* (disponible en [www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/sp-44-forests-water-web.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/sp-44-forests-water-web.pdf)).
- French Water Partnership y Coalition Eau.** 2016. *Review of the integration of water within the Intended Nationally Determined Contributions (INDCs) for COP21* (disponible en [www.coalition-eau.org/wp-content/uploads/2016-06-review-of-water-integration-in-indc.pdf](http://www.coalition-eau.org/wp-content/uploads/2016-06-review-of-water-integration-in-indc.pdf)).
- Gammie, G. y de Bievre, B.** 2015. *Assessing green interventions for the water supply of Lima, Peru*. Informe para Forest Trends y CONDESAN. Washington, DC.
- Huntington, T.G.** 2006. Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319(1-4): 83–95.
- Kalantari, Z., Ferreira, C., Keesstra, S. y Destouni, G.** 2018. Ecosystem-based solutions for flood-drought risk mitigation in vulnerable urbanizing parts of East Africa. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5: 73–78.
- McDonald, R.I. y Shemie, D.** 2014. Urban water blueprint: mapping conservation solutions to the global water challenge [en Internet]. The Nature Conservancy. [Citado en junio de 2019]. <http://water.nature.org/waterblueprint/#/intro=true>
- Mekonnen, M.M. y Hoekstra, A.** 2016. Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2).
- Millennium Ecosystem Assessment.** 2005. *Global assessment report*. Island Press, Washington, DC.
- Naciones Unidas.** 2018. 2018 Revision of world urbanization prospects [en Internet]. [Citado en junio de 2019]. [www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html](http://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html)
- Nagabhatla, N., Springgay, E. y Dudley, N.** 2018. Los bosques, soluciones basadas en la naturaleza para garantizar la seguridad hídrica de los entornos urbanos. *Unasyuva*, 250: 43–52.
- Natura Foundation.** 2019. Watershed Program [en Internet]. [Citado en junio de 2019]. [www.naturabolivia.org/en/watershed-2](http://www.naturabolivia.org/en/watershed-2)
- OCDE.** 2015. Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE [en Internet]. Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE). [Citado en junio de 2019]. [www.oecd.org/governance/oecd-principles-on-water-governance.htm](http://www.oecd.org/governance/oecd-principles-on-water-governance.htm)
- Oki, T. y Kanae, S.** 2006. Global hydrological

- cycles and world water resources. *Science*, 313(5790): 1068–1072.
- Porras, I. y. Asquith, A.** 2018. *Ecosystems, poverty alleviation and conditional transfers*. Londres, Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo (International Institute for Environment and Development [IIED]).
- PNUMA.** 2016. *A snapshot of the world's water quality: towards a global assessment*. Nairobi, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos.** 2015. *The United Nations World Water 416 Development Report 2015: Water for a sustainable world*. París, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
- Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos.** 2017. *The United Nations World Water 416 Development Report 2017: Wastewater: The Untapped Resource*. París, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
- Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos.** 2018. *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based solutions for water*. París, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
- Ramsar Convention Secretariat.** 2016. *An introduction to the Ramsar Convention on Wetlands*. Gland, Suiza (disponible en: [www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1\\_5ed\\_introductiontoconvention\\_e.pdf](http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introductiontoconvention_e.pdf)).
- Ramsar Sites Information Service.** 2019. Ramsar Sites Information Service [en Internet]. [Citado en junio de 2019]. <https://rsis.ramsar.org>
- Servicio Forestal de los Estados Unidos.** 2017. Water, air, and soil [en Internet]. [Citado en junio de 2019]. [www.fs.fed.us/science-technology/water-air-soil](http://www.fs.fed.us/science-technology/water-air-soil)
- Sonneveld, B.G.J.S., Merbis, M.D., Alfarra, A., Ünver, O. y Arnal, M.A.** 2018. *Nature-based solutions for agricultural water management and food security*. FAO Land and Water Discussion Paper N.º 12. Roma, FAO. 66 pp. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Springgay, E., Casallas, S., Janzen, S. y Brito, V.V.** De próxima publicación. The forest-water nexus: an international perspective. *Forests*.
- UNESCAP/UNISDR.** 2012. *Reducing vulnerability and exposure to disasters*. The Asia-Pacific Disaster Report 2012. Bangkok, United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (UNESCAP)/United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR).
- Van der Ent, R.J., Savenije, H.H.G., Schaeffli, B. y Steele-Dunne, S.C.** 2010. Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Research*, 49(9).
- Veolia y IFPRI.** 2015. *The murky future of global water quality: new global study projects rapid deterioration in water quality*. Washington, DC, International Food Policy Research Institute (IFPRI)/Veolia.
- Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., Van Vliet, M.T.H., Yillia, P., Ringler, C., Burek, P. y Wiberg, D.** 2016. Modelling global water use for the 21st century: the Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geoscientific Model Development*, 9: 175–222.
- WRI.** 2017. Global Forest Water Watch [en Internet]. Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute [WRI]). [Citado en junio de 2019]. [www.globalforestwatch.org](http://www.globalforestwatch.org).
- WWF.** 2018. *Living Planet Report 2018: Aiming higher*. M. Grooten y R.E.A. Almost, eds. Gland, Suiza, WWF. ♦

# Bosques contra el viento: cómo gestionar el reciclaje de la humedad para lograr una resiliencia basada en la naturaleza

*D. Ellison, L. Wang-Erlandsson, R. van der Ent y M. van Noordwijk*

**L**a formulación de soluciones basadas en la naturaleza y relacionadas con los bosques y el agua que sean eficientes y efectivas para responder a los desafíos del desarrollo humano requiere de una comprensión holística del papel que desempeña la interacción bosque-agua

en los flujos hidrológicos y en el abastecimiento de agua en los paisajes locales, regionales y continentales. Sin embargo, la gestión de los bosques y los recursos hídricos tiende a centrarse en el caudal de los ríos y a dar por sentado que la lluvia es un aporte incontrolable e inmanejable

*Los árboles y los bosques multiplican el suministro oceánico de agua dulce a través del reciclaje de la humedad, lo que subraya la necesidad imperiosa de detener la deforestación y brinda una forma de aumentar los beneficios de la restauración forestal relacionados con el agua.*

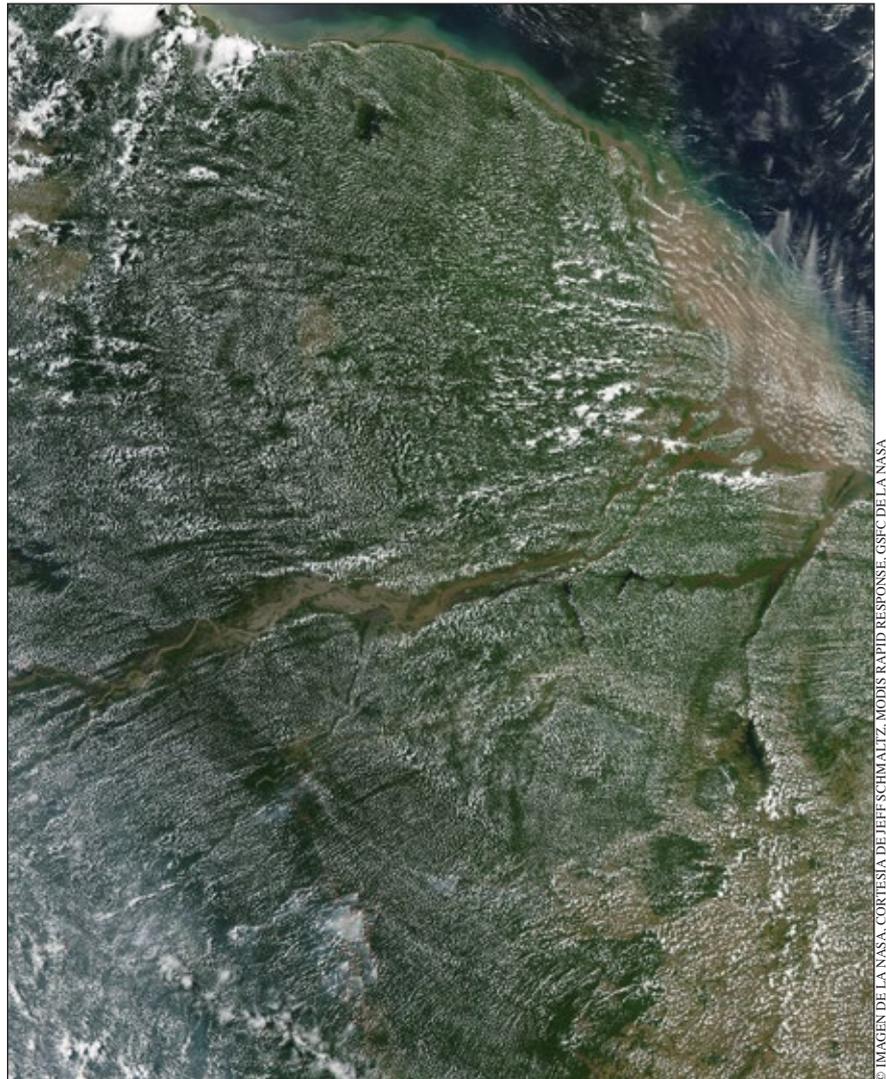
**David Ellison** trabaja en el Departamento de Gestión de Recursos Forestales de la Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas, Umeå, Suecia; es investigador adjunto en la Unidad de Gestión Sostenible de la Tierra del Instituto de Geografía de la Universidad de Berna, Suiza, y se desempeña en Ellison Consulting, Baar, Suiza.

**Lan Wang-Erlandsson** se desempeña en el Centro de Resiliencia de Estocolmo, Universidad de Estocolmo, Estocolmo, Suecia.

**Ruud van der Ent** trabaja en el Departamento de Gestión del Agua, Facultad de Ingeniería Civil y Geociencias, Universidad Tecnológica de Delft, Delft, Países Bajos, y en el Departamento de Geografía Física, Facultad de Geociencias de la Universidad de Utrecht, Utrecht, Países Bajos.

**Meine van Noordwijk** se desempeña en el Centro Mundial de Agroforestería de Bogor, Indonesia, y en los Sistemas de Producción Vegetal de la Universidad de Wageningen, Wageningen, Países Bajos.

*Nubes vespertinas sobre la selva amazónica*



© IMAGEN DE LA NASA. CORTESÍA DE JEFF SCHMALTZ, MODIS RAPID RESPONSE, GSFC DE LA NASA

para el sistema (Ellison, Futter y Bishop, 2012). Por lo tanto, se suele subestimar y menospreciar el impacto que puede tener el aumento de la cobertura arbórea y forestal sobre el potencial suministro de agua y sobre las precipitaciones de las zonas que se ubican a favor del viento.

En promedio, alrededor del 60 % de toda la transpiración y otras fuentes de evaporación terrestre (en conjunto denominadas evapotranspiración) regresa a la tierra bajo la forma de precipitación a través del reciclaje de la humedad terrestre, y aproximadamente el 40 % de todas las precipitaciones terrestres se origina en la evapotranspiración (van der Ent *et al.*, 2010; véase también la Figura 1). Desde la perspectiva de un río, la evapotranspiración puede parecer una pérdida, pero a efectos del paisaje extendido, el reciclaje de la humedad atmosférica («los ríos del cielo») favorece la lluvia en las zonas ubicadas en el sentido del viento.

Los bosques tienen una importancia desproporcionada en cuanto a la generación de lluvias. En promedio, su consumo de agua es 10–30 % más cercano a la evapotranspiración potencial determinada por el clima que el de los cultivos agrícolas o pasturas (Creed y van Noordwijk, 2018). Por ejemplo, los bosques tropicales de hoja ancha y perenne ocupan alrededor del 10 % de la superficie terrestre de la Tierra, pero contribuyen con el 22 % de la evapotranspiración mundial (Wang-Erlandsson *et al.*, 2014), y una parte importante de esta última regresa a la tierra bajo la forma de lluvia. Adicionalmente, los árboles de raíces profundas pueden acceder a la humedad del suelo y al agua subterránea y, por lo tanto, continúan transpirando durante los períodos secos cuando los pastos están inactivos, con lo que proporcionan una humedad crucial para la lluvia en las épocas en que el agua es más escasa (Staal *et al.*, 2018; Teuling *et al.*, 2010).

Por consiguiente, las soluciones basadas en la naturaleza que involucran la restauración de bosques y paisajes tienen el potencial de influir en las precipitaciones y, por ende, en los regímenes pluviales de

zonas ubicadas en la dirección del viento a veces muy distantes, que dependen del reciclaje de la humedad para la producción de alimentos, el abastecimiento de agua y la resiliencia del paisaje (Bagley *et al.*, 2012; Dirmeyer *et al.*, 2014; Dirmeyer, Brubaker y DelSole, 2009; Ellison *et al.*, 2017; van der Ent *et al.*, 2014, 2010; Gebrehiwot *et al.*, 2019). Las relaciones de larga distancia que existen entre los bosques, el reciclaje de la humedad y las precipitaciones desafían los análisis convencionales bosque-agua que se centran en las zonas de captación como principal unidad de análisis (Ellison, Futter y Bishop, 2012; Wang-Erlandsson *et al.*, 2018). Los estudios centrados en las zonas de captación tienden a ignorar la evapotranspiración luego de que salió de los límites de la cuenca en que se produjo, a pesar de su aporte esencial a la lluvia en otros lugares ubicados en la dirección del viento (Ellison, Futter y Bishop, 2012). A ello se suma la opinión de que la evapotranspiración representa una pérdida, más que un aporte al ciclo hidrológico, lo que ha generado un sesgo pronunciado, tanto en contra de los bosques, como en favor del balance hídrico basado en las cuencas de captación (Bennett y Barton, 2018; Denny-Frank y Gorelick, 2019; Filoso *et al.*, 2017; Jackson *et al.*, 2005; Trabucco *et al.*, 2008).

Sin embargo, las nuevas capacidades de modelización y la mayor disponibilidad de datos hacen posible que los científicos cuantifiquen mejor y con mayor facilidad los lugares y el grado en que los bosques contribuyen a la lluvia. En el último decenio se ha dado un aumento, no solo en la comprensión de la relación bosque-lluvia a través del reciclaje de la humedad, sino también en la exploración científica de las oportunidades de gestión y gobernanza del paisaje, los bosques y el agua (Creed y van Noordwijk, 2018; Ellison *et al.*, 2017; Keys *et al.*, 2017).

En el presente artículo analizamos el papel de los bosques como agentes recicladores de agua y multiplicadores de los recursos hídricos, examinamos las implicaciones de las relaciones atmosféricas y

a larga distancia entre los bosques y el agua, y sopesamos algunos de los desafíos y oportunidades clave para emplear a los bosques en la aplicación de soluciones basadas en la naturaleza para el agua. Nuestro foco está en la función que cumplen los bosques para el suministro de agua y lluvia a través del reciclaje de la humedad. Por consiguiente, dejaremos de lado los diversos beneficios adicionales invaluable que aporta la interacción bosque-agua, como pueden ser la moderación de las inundaciones, la purificación del agua, la infiltración, la recarga de agua subterránea y el enfriamiento de la superficie terrestre (véase Ellison *et al.*, 2017).

## LOS BOSQUES SUMINISTRAN Y MULTIPLICAN LOS RECURSOS DE AGUA DULCE

### Distribución mundial del reciclaje de la humedad

Los flujos de agua sobre la tierra de mayor envergadura no son los de los ríos, sino los que fluyen de manera «invisible» y lo hacen, primero, en dirección vertical bajo la forma de vapor y gotas (es decir, evapotranspiración y precipitación) y, segundo, en sentido horizontal como humedad atmosférica (son los ríos del cielo) (Figura 1). En promedio, cada año se produce la evapotranspiración de aproximadamente 75 000 km<sup>3</sup> de agua desde la tierra a la atmósfera, donde se combinan con la evaporación de origen oceánico (Oki y Kanae, 2006; Rodell *et al.*, 2015; Trenberth, Fasullo y Mackaro, 2011). De la evapotranspiración que se origina en la tierra, parte de ella cae bajo la forma de lluvia sobre los océanos, pero el 60 %, alrededor de 45 000 km<sup>3</sup> por año, cae bajo la forma de lluvia sobre la tierra (Dirmeyer *et al.*, 2014; van der Ent *et al.*, 2010). En total, la evapotranspiración aporta alrededor del 40 % de los 120 000 km<sup>3</sup> de agua por año que se precipitan sobre la tierra.

Los bosques, los árboles y demás tipos de vegetación desempeñan un papel fundamental para brindar apoyo, tanto a la evapotranspiración como a la

precipitación. En un promedio global, la transpiración representa aproximadamente el 60 % de la evapotranspiración total, con un amplio margen de incertidumbre (Coenders-Gerrits *et al.*, 2014; Schlesinger y Jasechko, 2014; Wang-Erlandsson *et al.*, 2014; Wei *et al.*, 2017). Sin embargo, la contribución directa de la vegetación a la evapotranspiración total también incluye la evaporación del dosel, del suelo del bosque y de la superficie del suelo, así como la interceptación de epifitas. Considerablemente más del 90 % de la evapotranspiración terrestre total proviene de tierras con vegetación (Abbott *et al.*, 2019; Rockström y Gordon, 2001), en comparación con la evaporación del suelo desnudo o de aguas abiertas (Miralles *et al.*, 2016; Wang-Erlandsson *et al.*, 2014).

Las simulaciones de modelos climáticos sugieren que un planeta verde con el máximo de vegetación podría suministrar el triple de evapotranspiración de la tierra y el doble de lluvia que un mundo desértico sin vegetación (Kleidon, Fraedrich y Heimann, 2000).

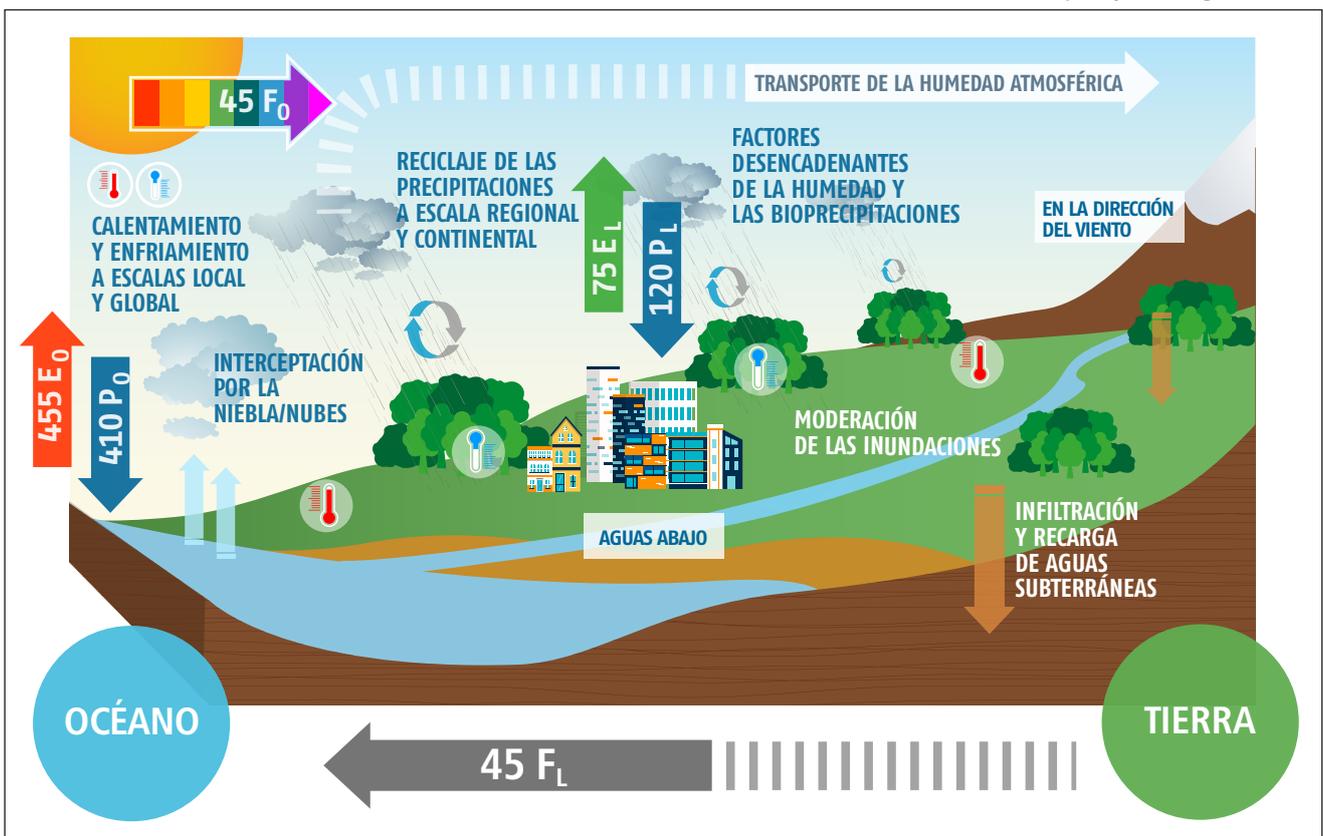
El reciclaje de la humedad regulado por los árboles, los bosques y la vegetación se distribuye de manera desigual. La Figura 2a muestra los beneficios de la generación de lluvia proporcionados por la cubierta vegetal que existe en las condiciones actuales de circulación atmosférica. En grandes partes de Europa, el este de la Federación de Rusia, África oriental y el norte de América del Sur, más de un tercio de la evapotranspiración está regulada por la vegetación (es decir, se produce

debido a la presencia de vegetación) y cae bajo la forma de precipitaciones sobre la tierra (Figura 2b). En partes de Eurasia, América del Norte, sur de América del Sur y grandes zonas secas y subtropicales de África, más de un tercio de las precipitaciones proviene de flujos de vapor que no se generarían si no hubiera vegetación (Keys, Wang-Erlandsson y Gordon, 2016).

La mayoría de las regiones del mundo depende esencialmente, y en diversos grados, de la capacidad de los paisajes para reciclar la humedad en los lugares ubicados en la dirección del viento. En ausencia de la precipitación regulada por la vegetación se perdería una parte considerable de la lluvia que cae sobre las superficies terrestres. Por otra parte, la regulación de la vegetación

1

El paisaje hidrológico mundial



*Notas:* F representa el intercambio de humedad atmosférica «neto» entre la tierra (L [del inglés, land]) y el océano (O). Los flujos de humedad atmosférica que ingresan a la tierra provenientes del océano ascienden, en promedio, a alrededor de 75 000 km<sup>3</sup> por año, cifra considerablemente superior a lo que sugieren los flujos «netos» de 45 000 km<sup>3</sup> (van der Ent *et al.*, 2010). Asimismo, el aporte de la evapotranspiración a la lluvia sobre los océanos es de aproximadamente 30 000 km<sup>3</sup> por año (van der Ent *et al.*, 2010). *Fuentes:* Adaptado de Ellison *et al.* (2017), con cuantificaciones del flujo de agua (es decir, evaporación oceánica [ $E_0$ ]; evapotranspiración [ $E_L$ ]; precipitación oceánica [ $P_0$ ]; precipitación terrestre [ $P_L$ ]; flujo neto de humedad del océano hacia la tierra [ $F_0$ ], flecha con arcoiris; y escorrentía [ $F_L$ ], flecha negra) en 1 000 km<sup>3</sup> por año, por van der Ent y Tuinenburg (2017).

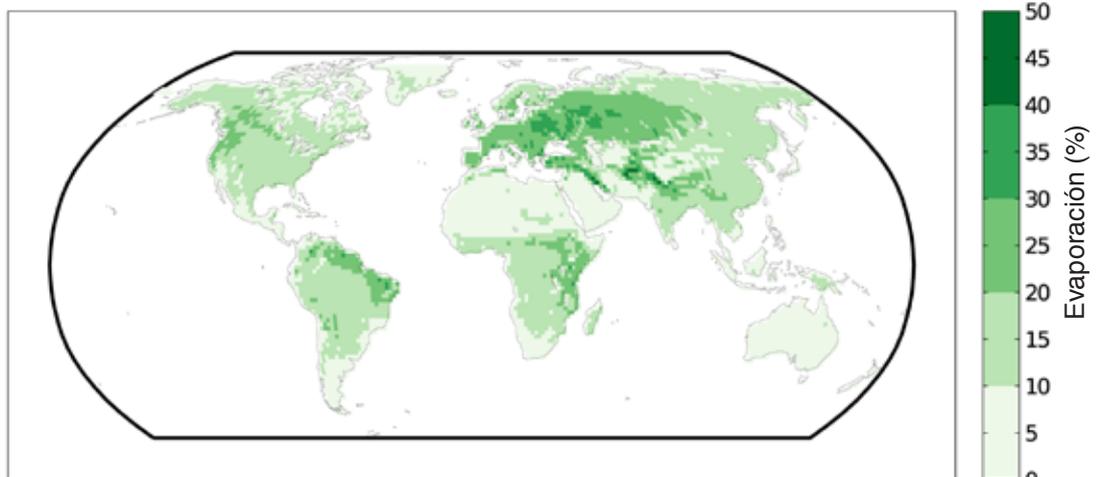
puede influir de manera crítica en la duración de las estaciones de crecimiento, y se vuelve aún más importante en los períodos secos (Keys, Wang-Erlandsson y Gordon, 2016). Por lo tanto, se puede obtener un beneficio considerable al restaurar porciones muy grandes de paisajes deforestados y degradados con árboles y bosques para sostener e intensificar el ciclo hidrológico y así aumentar la disponibilidad de recursos de agua dulce en las superficies terrestres.

### Aspectos esenciales del ciclo de humedad del bosque: retención de la humedad y multiplicación de la lluvia

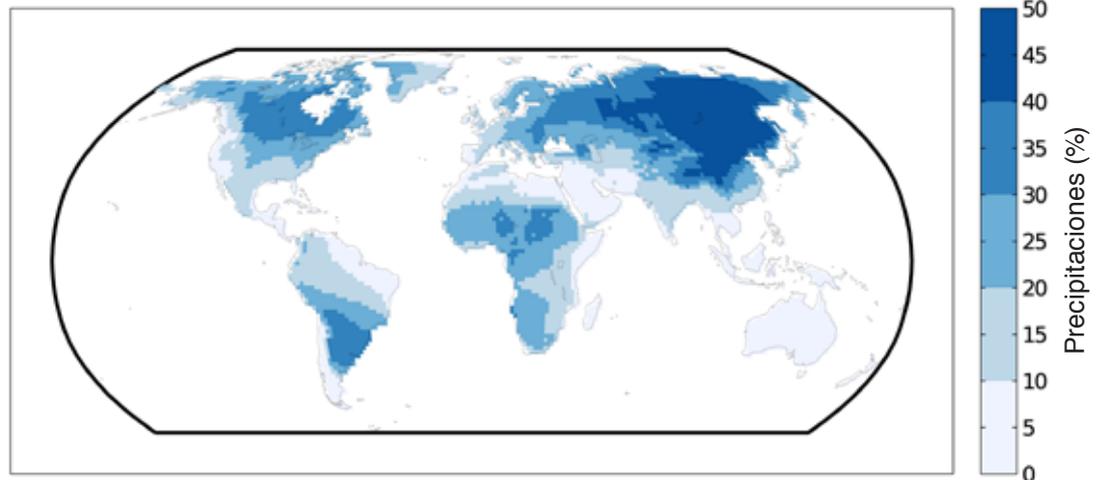
En general, las regiones muy boscosas exhiben un reciclaje de la humedad más intenso que el de las regiones no forestadas. Durante los períodos húmedos, la transpiración, la lluvia y el agua interceptada por las hojas en un bosque están estrechamente ligadas entre sí en el tiempo y el espacio. La distancia promedio que recorren las partículas de agua desde las regiones boscosas durante la estación húmeda puede ser de apenas 500-1 000 km, especialmente en

la selva lluviosa (van der Ent y Savenije, 2011). La humedad que se evapora de los bosques lluviosos más densos pasa (en promedio) menos de cinco días en la atmósfera (van der Ent y Tuinenburg, 2017). Esto ilustra la capacidad de los bosques para crear su propia lluvia. En vastas zonas de las cuencas del Amazonas y el Congo, aproximadamente la mitad de la evapotranspiración regresa bajo la forma de lluvia sobre la tierra (van der Ent *et al.*, 2010). Cuando la lluvia excede las cantidades reales de la evapotranspiración, los ríos se alimentan de los flujos de agua

2  
a) Porción de la evapotranspiración que está regulada por la vegetación y cae sobre la tierra bajo la forma de precipitaciones (%)



b) Porción de las precipitaciones que proviene de la evapotranspiración «regulada por la vegetación» ubicada en la dirección del viento (%)



*Notas:* La figura muestra la importancia relativa de la vegetación mundial actual para la evaporación que regresa a la tierra bajo la forma de precipitación (panel superior), y la precipitación que se origina como evapotranspiración terrestre (panel inferior). Las estimaciones se basan en el modelo que resulta de combinar el modelo hidrológico STEAM y el modelo de seguimiento de la humedad WAM-2layers, en el que se simula una hipótesis de «tierra actual» y otra hipótesis de «tierra estéril/vegetación escasa». La evapotranspiración y la precipitación «reguladas por la vegetación» se definen como la diferencia de evapotranspiración y precipitación entre estas dos hipótesis. El destino de la evapotranspiración y el origen de la precipitación se determinan posteriormente utilizando WAM-2layers. Estas simulaciones de modelos captan las interacciones inmediatas con el ciclo del agua atmosférica, pero no consideran los cambios en la circulación, la calidad del suelo, la escorrentía y la disponibilidad de agua.

*Fuente:* Keys, Wang-Erlandsson y Gordon (2016), empleadas en el marco de una licencia CC BY 4.0.

excedentes. Por lo tanto, cuando la pérdida de bosques genera un quiebre en la cadena de reciclaje de la humedad, puede haber consecuencias en cascada en las zonas ubicadas en la dirección del viento, tanto para la lluvia como para el flujo de los ríos (Ellison *et al.*, 2017; Gebrehiwot *et al.*, 2019; Lovejoy y Nobre, 2018; Molina *et al.*, 2019; Nobre, 2014; Sheil y Murdiyarso, 2009; Wang-Erlandsson *et al.*, 2018).

Por otra parte, los bosques difieren sumamente de los tipos de vegetación más bajos en virtud de su mayor potencial de almacenamiento de agua - debajo del suelo, en el suelo del bosque y en el dosel. Esta capacidad de almacenamiento permite que los árboles devuelvan considerablemente

más lluvia a la atmósfera bajo la forma de evapotranspiración durante períodos más largos, incluso sin lluvia. Por ende, el almacenamiento de la humedad del suelo permite que los bosques desempeñen un papel especialmente importante en el ciclo del agua cuando esta última se vuelve más escasa. Los bosques desarrollan raíces profundas para hacer frente a las sequías, en contraste con los tipos de vegetación más cortos, que tienden a entrar en estado de letargo (Wang-Erlandsson *et al.*, 2016). Al tener raíces más profundas, los árboles pueden almacenar y acceder a una mayor cantidad de agua en el suelo, que utilizan para la transpiración durante los períodos sin lluvia (Teuling *et al.*, 2010), así como para aprovechar los recursos de agua subterránea (Fan *et al.*, 2017; Sheil, 2014). Esta humedad transpirada genera lluvias en la estación seca en regiones más distantes

(van der Ent *et al.*, 2014), lo que puede ser esencial como forma de amortiguar los ecosistemas, las tierras agrícolas y las comunidades humanas contra la sequía (Staal *et al.*, 2018). Debido a que las estaciones secas y las sequías a menudo significan una disminución en el suministro de la evaporación de los océanos a la tierra, el papel relativo de los bosques puede ser mucho mayor en los períodos secos (Bagley *et al.*, 2012). La capacidad de los bosques para retener la humedad y liberarla durante las épocas secas puede ayudar a estabilizar y extender las estaciones de crecimiento, lo que puede ser especialmente crucial en los lugares que experimentan un aumento inducido por el cambio climático en los períodos secos y las estaciones secas.

La capacidad de los bosques para retener y proporcionar humedad durante múltiples

**Los árboles contribuyen a la evapotranspiración al acceder a la humedad profunda del suelo y al agua subterránea, así como a través de la interceptación**





© LAN WANG BERLANDSSON

**Los árboles contribuyen a la redistribución de los flujos de la humedad, tanto en los cursos de agua como en la atmósfera**

ciclos de reciclaje de lluvia significa que los bosques no solo «reasignan» una cantidad fija de precipitación, sino que también multiplican esa cantidad y alteran aún más la dinámica temporal de la precipitación. Esta perspectiva contrasta fuertemente con la gestión convencional de los recursos hídricos basada en las cuencas de captación, que considera la cantidad total de agua disponible en las superficies terrestres como una cantidad fija en una hipótesis de asignación de suma cero entre agua azul y agua verde,<sup>1</sup> donde la cantidad total de agua disponible es influenciada únicamente por la variación climática interanual de las cantidades totales de

precipitación. Sobre la base de esta nueva forma de comprender el ciclo hidrológico, la lluvia es un elemento sistémico endógeno y responde a las condiciones cambiantes del uso de la tierra dentro de los paisajes y a través de ellos.

<sup>1</sup> El paradigma del agua verde y del agua azul divide el balance hídrico de la cuenca de captación en múltiples componentes. El agua verde representa toda el agua que reingresa a la atmósfera a través de la evapotranspiración de los árboles, las plantas, las tierras de cultivo y las masas de agua abiertas. El agua azul representa el agua superficial y subterránea restante que queda disponible para consumo humano y uso industrial. El agua gris, que prácticamente no se contempla en el presente artículo, representa el agua que se ha degradado a través del uso industrial o del ser humano (Falkenmark y Rockström, 2006; Hoekstra, 2011).

**El reciclaje de la humedad y la función de las cuencas**

En su mayor parte, el reciclaje de la humedad hace sus principales aportes a distancias que van mucho más allá de la escala de la cuenca de captación. Esto puede presentar un dilema para los administradores locales de recursos hídricos porque plantar más árboles y bosques en una determinada cuenca generalmente tendrá el efecto de restarle más recursos hídricos a esa misma cuenca para luego verterlos a la atmósfera (Bennett y Barton, 2018; Calder *et al.*, 2007; Dennedy-Frank y Gorelick, 2019; Filoso *et al.*, 2017; Jackson *et al.*, 2005). En los casos en que el suministro de agua disponible a nivel local sea limitado, es posible que sea necesario realizar la reforestación en

otros lugares ubicados en la dirección contraria al viento, o que se compensen los egresos del volumen de agua que la cuenca de captación vierte a la atmósfera. A escala local, esto se puede lograr si se reducen otros usos del agua en la cuenca de captación, como los que involucran tierras de cultivo, industrias y poblaciones humanas. A nivel regional, podría ser necesario coordinar los esfuerzos de reforestación de modo tal que el agua que pierden las cuencas de captación a través de una mayor evapotranspiración se vea compensado por el aumento de las precipitaciones que caen como consecuencia de la intensificación de la reforestación en la dirección contraria al viento.

No todas las cuencas tienen problemas de agua, y muchas pueden beneficiarse de la restauración forestal adicional. Por lo tanto, en las cuencas que poseen abundante agua y son propensas a las inundaciones, los árboles y los bosques pueden contribuir a redistribuir los recursos hídricos a las comunidades que se ubican en la dirección del viento, al tiempo que facilitan la infiltración local, el almacenamiento de humedad en el suelo y la recarga de las aguas subterráneas (Bargués Tobella *et al.*, 2014; Bruijnzeel, 2004; Ilstedt *et al.*, 2016; McDonnell *et al.*, 2018). Por otra parte, el agregado de árboles y bosques puede ayudar a moderar las inundaciones (van Noordwijk, Tanika y Lusiana, 2017) y reducir la erosión. El enfriamiento de las superficies terrestres y la absorción de la humedad proveniente de las nubes y la niebla representan beneficios adicionales derivados del aumento de la cobertura de árboles y bosques (Bright *et al.*, 2017; Bruijnzeel, Mulligan y Scatena, 2011; Ellison *et al.*, 2017; Ghazoul y Sheil, 2010; Hesslerová *et al.*, 2013).

#### **SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA Y ADAPTACIÓN BASADA EN EL ECOSISTEMA**

Con el fin de facilitar el replanteamiento por el cual se concibe a los árboles y los bosques como soluciones basadas en la naturaleza, capaces de contribuir

al reciclaje de la humedad, destacamos los siguientes factores: las diferencias clave con respecto a la disponibilidad del agua verde y el agua azul; los múltiples beneficios del reciclaje de la humedad suministrada por el bosque; las nociones de «cuenca de precipitación» y «cuenca de evaporación» como herramientas conceptuales, y los desafíos para la gobernanza del reciclaje de la humedad del bosque a través de escalas e intereses divergentes.

#### **Repensar la totalidad de agua disponible: la diferencia entre agua verde y agua azul**

Desde la perspectiva de la cuenca de captación, parecería lógico partir de la precipitación medida como la expresión del suministro total de agua disponible (Gleick y Palaniappan, 2010; Hoekstra y Mekonnen, 2012; Mekonnen y Hoekstra, 2016; Schyns *et al.*, 2019; Schyns, Booi y Hoekstra, 2017). Sin embargo, esto implicaría ignorar la evapotranspiración, la producción «verde» de humedad atmosférica, que llevan a cabo los árboles, bosques, tierras de cultivo y otras formas de vegetación (van Noordwijk y Ellison, 2019). Mediante el reciclaje de la humedad, la vegetación hace que el agua proveniente de las fuentes oceánicas ubicadas en sentido opuesto al viento esté disponible en localidades cada vez más distantes del interior de las tierras, y regula el clima al enfriar las superficies terrestres (Bagley *et al.*, 2012; Ellison *et al.*, 2017; Ellison, Futter y Bishop, 2012; van der Ent *et al.*, 2010; Keys, Wang-Erlandsson y Gordon, 2016; van Noordwijk *et al.*, 2014; Sheil y Murdiyarsa, 2009; Wang-Erlandsson *et al.*, 2018).

A lo largo de las costas que se ubican en la dirección contraria al viento, la adquisición de una unidad de agua dulce para consumo humano o industrial tiene un valor muy superior que la misma cantidad de agua en las zonas ubicadas en la dirección del viento. Por lo tanto, los diferentes elementos del paradigma del agua azul, verde y gris no pueden considerarse como unidades modulares extraíbles o

intercambiables que simplemente pueden conectarse o desconectarse de un sistema a voluntad. El todo no es igual a la suma de sus partes (van Noordwijk y Ellison, 2019). Por consiguiente, una estrategia alternativa, aunque rara vez reconocida, para gestionar y potencialmente mejorar la disponibilidad de agua en las cuencas de captación consiste en aumentar la cantidad de cubierta forestal en las zonas ubicadas en la dirección opuesta al viento como forma de aportar más lluvia a las cuencas que se ubican en la dirección del viento (Creed y van Noordwijk, 2018; Dalton *et al.*, 2016; Ellison, 2018; Keys *et al.*, 2012; Weng *et al.*, 2019).

En contraste con el enfoque predominante centrado en las cuencas de captación para medir y asignar los recursos hídricos terrestres, podría ser más útil considerar el agua «potencialmente disponible». Esto se puede considerar en gran medida como una función de tres factores: 1) qué porción del balance hídrico de la cuenca de captación local ubicada en dirección opuesta al viento puede reciclarse para reingresar nuevamente a la atmósfera y potencialmente generar precipitaciones en la dirección del viento; 2) cuántas veces puede reciclarse de esta forma el aporte oceánico al balance hídrico terrestre, y 3) en qué medida el aumento del reciclaje puede aportar humedad a los períodos secos y acortar la duración de las estaciones secas.

Dado que ya se ha eliminado de la superficie terrestre entre el 40 y el 50 % de los bosques del mundo (Crowther *et al.*, 2015), una pregunta crucial es: ¿cuánta agua dulce adicional se podría agregar al caudal de agua terrestre si se realizara la restauración progresiva de paisajes otrora forestados y actualmente degradados? La simulación de una hipótesis extrema efectuada por Kleidon, Fraedrich y Heimann (2000), basada en un modelo climático, sugiere que, en una hipótesis de «vegetación máxima» (es decir, un terreno con una cubierta forestal que posea una densidad del 100 %), la precipitación terrestre podría ser casi el doble de la que se observa



TOKYO SKYLINE<sup>®</sup> DE ALEXIS BROSS, BAJO LICENCIA CC-BY-NC-SA 2.0

**Las reducciones en las precipitaciones inducidas por la deforestación no solo afectan a los ecosistemas y la agricultura, sino también al abastecimiento de agua de las ciudades, como la megaciudad de Tokio, Japón, que se ve en la foto**

en un mundo desértico, o alrededor de 137 000 km<sup>3</sup> de precipitaciones por año, en comparación con 71 000 km<sup>3</sup> por año en la hipótesis de «ausencia de vegetación», debido al aumento del reciclaje del agua y la radiación superficial y a pesar del aumento en la cobertura de nubes. Dicha estimación sugiere una duplicación del índice de evapotranspiración sobre precipitación terrestre relativo a un mundo desértico y sugiere una posible adición de unos 17 000 km<sup>3</sup> en la precipitación anual total en comparación con el total de la precipitación anual actual estimado en la Figura 1.<sup>2</sup> En hipótesis menos extremas, y si partimos de la base de índices fijos de reciclaje de humedad, otro estudio sugirió que la vegetación potencial (es decir, el estado de vegetación natural

potencial en las condiciones climáticas actuales) podría conducir a un aumento de 600 km<sup>3</sup> de precipitación terrestre por año en comparación con el uso actual de la tierra (Wang-Erlandsson *et al.*, 2018). Esta hipótesis incluye el riego, que proporciona una mayor evapotranspiración y precipitación que la «vegetación potencial».

En ambas estimaciones, el aumento mundial acumulado en la precipitación potencial y en la disponibilidad de agua oculta una importante heterogeneidad espacial. Persiste una enorme incertidumbre respecto de los efectos de la forestación y la reforestación sobre las precipitaciones en los modelos globales, por lo que se necesita un análisis más detallado.

#### **¿Soluciones basadas en la naturaleza para quién? Beneficiarios de la lluvia generada por los bosques**

El papel de los árboles y los bosques en el mantenimiento del ciclo del agua es de gran interés y presenta múltiples posibilidades

para la integración sectorial en el diseño de soluciones basadas en la naturaleza. Los sistemas de pago por servicios ecosistémicos (Martin-Ortega, Ojea y Roux, 2013) son un posible medio por el cual podrían implementarse dichas estrategias en el terreno. Sin embargo, a la fecha, no tenemos conocimiento de ninguna iniciativa de adaptación basada en el ecosistema y destinada explícitamente a poner en práctica los principios de reciclaje de la humedad (Creed y van Noordwijk, 2018), a pesar del gran potencial de tales estrategias de restauración de bosques y paisajes. Por otro lado, se están desarrollando modelos para determinar el tiempo y el lugar en aquellos casos en que se podría considerar

<sup>2</sup> Las estimaciones del ciclo hidrológico mundial de la precipitación anual total varían en el espectro de alrededor de 99 000–129 000 km<sup>3</sup> (Abbott *et al.*, 2019; Trenberth *et al.*, 2011). Por lo tanto, con la incorporación de esta incertidumbre en la estimación de Kleidon, Fraedrich y Heimann (2000) se obtiene un rango aproximado de +8 000– +37 000 km<sup>3</sup> por año.

una reforestación adicional con miras a incrementar el reciclaje de la humedad (Creed y van Noordwijk, 2018; Dalton *et al.*, 2016; Ellison, 2018; Gebrehiwot *et al.*, 2019; Keys, Wang-Erlandsson y Gordon, 2018; Wang-Erlandsson *et al.*, 2018; Weng *et al.*, 2019).

El reciclaje de la humedad puede tener otros impactos importantes sobre la resiliencia de los bosques. La deforestación tropical en una región ubicada en dirección contraria al viento disminuye la cantidad total de agua que se intercepta y se almacena en las superficies del suelo, lo que a su vez reduce la evapotranspiración y la precipitación en las zonas ubicadas en la dirección del viento. Por su parte, la disminución de la precipitación aumenta el riesgo de incendios (IUFRO, 2019), lo que puede provocar la pérdida de bosques o incluso implicar la extinción progresiva del bosque (Staal *et al.*, 2015; Zemp *et al.*, 2017). Debido a las grandes reservas de carbono, la rica biodiversidad y la

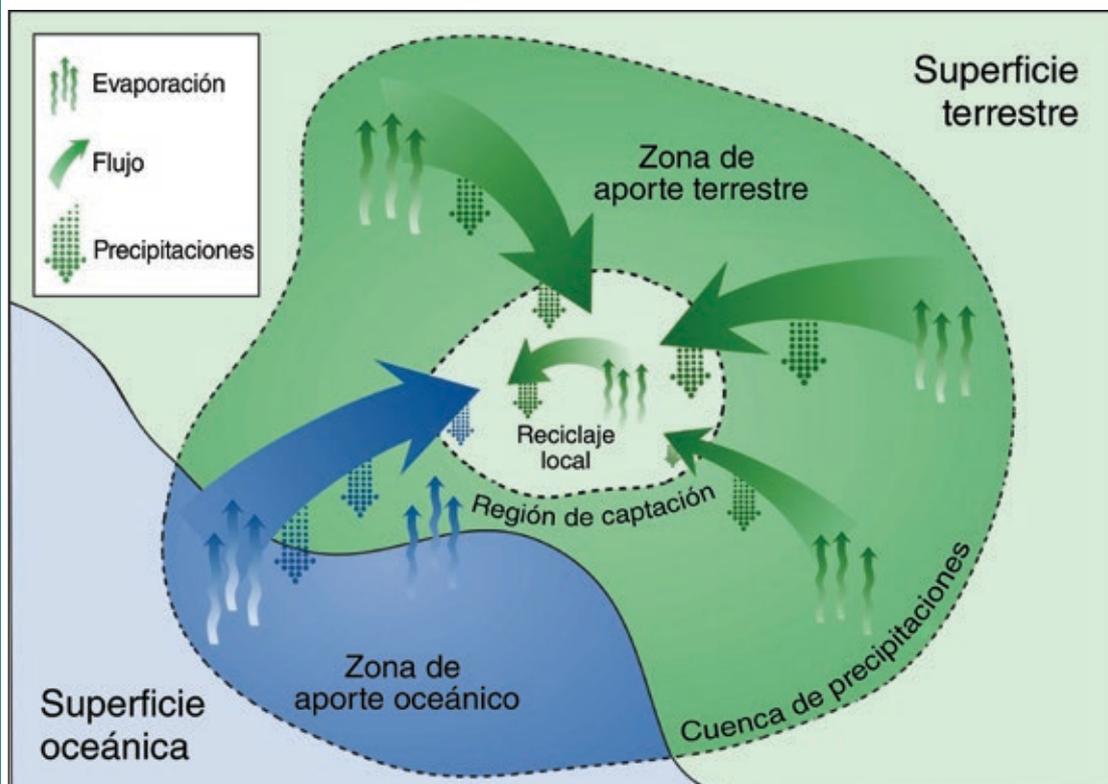
regulación climática que proporcionan los bosques tropicales, la extinción de los bosques arriesga desencadenar un cambio climático mayor, con alteraciones en cascada en el régimen y con modificaciones teleconectadas en la circulación (Boers *et al.*, 2017; Lawrence y Vandecar, 2015; Rocha *et al.*, 2018).

La agricultura no solo es un importante factor que impulsa la degradación forestal y la deforestación (DeFries *et al.*, 2010), sino también un beneficiario directo de la humedad suministrada por el bosque. Bagley *et al.* (2012), entre otros, demostraron que los rendimientos de los cultivos en las principales regiones productoras de cultivos podrían verse afectados por el cambio en el uso de la tierra a través del reciclaje de humedad en una magnitud similar a la del cambio climático. Oliveira *et al.* (2013) demostraron que la expansión agrícola a expensas de la selva amazónica podría ser contraproducente debido a la consiguiente disminución de las precipitaciones.

La lluvia no solo alimenta a la agricultura, sino que repone todos los recursos de agua dulce. Por lo tanto, la deforestación que reduce las precipitaciones también puede tener consecuencias potenciales para las megaciudades (es decir, ciudades con más de 10 millones de habitantes) cuyo abastecimiento de agua proviene de las aguas superficiales (Keys, Wang-Erlandsson y Gordon, 2018; Wang-Erlandsson *et al.*, 2018). Por ejemplo, la deforestación amazónica fue un factor que pudo haber contribuido a las graves sequías de 2014-2017 en la megaciudad brasileña de San Pablo (Escobar, 2015; Nazareno y Laurance, 2015).

### «Cuencas de precipitación» y «cuencas de evaporación»

Para cualquier área o región de interés, como una cuenca, un parque nacional, una nación o un continente, las zonas de aporte y las zonas de captación de la precipitación y la evaporación se pueden



3  
Figura conceptual de una cuenca de precipitación en la que se selecciona la región de captación en función (por ejemplo) del interés a efectos de la gestión

Fuente: Keys *et al.* (2012), utilizado aquí en el marco de una licencia CC-BY-3.0.

determinar efectuando un seguimiento de la humedad. Por analogía con la «cuenca hidrográfica», el concepto de «cuenca de precipitación» (Figura 3) define las delimitaciones regionales de los sitios ubicados en la dirección opuesta al viento, sobre la base de un umbral de humedad que se aporta y se recibe (Keys *et al.*, 2012). Los estudios de las cuencas de precipitación abordan la siguiente pregunta: «¿Dónde se produce la evaporación o evapotranspiración que suministra la precipitación de la región que nos interesa estudiar?» También puede formularse la pregunta opuesta: «¿En qué zona de la región que nos interesa estudiar contribuye la evapotranspiración a la precipitación?» Los estudios de seguimiento de la humedad pueden mapear esas áreas, a veces llamadas «cuencas de evaporación» (por ejemplo, van der Ent y Savenije, 2013). Los límites de las cuencas hidrográficas están determinados por la topografía del paisaje y los flujos superficiales; por su parte, las «cuencas de precipitación» y las «cuencas de evaporación» están determinadas por los flujos de la humedad atmosférica que siguen los patrones del viento, varían según la estación y dependen de la selección de una región de interés respecto de la cual se rastrea la precipitación hasta llegar a la fuente de origen de la evaporación.

Las «cuencas de precipitación», al igual que las zonas que proporcionan evapotranspiración que luego regresa bajo la forma de lluvia a otros lugares, pueden cartografiarse en términos absolutos (por ejemplo, milímetros por año) o relativos (por ejemplo, porcentaje de evaporación de una región seleccionada), a efectos de proporcionar diversos tipos de información. La definición de los límites absolutos de las cuencas de precipitación puede contribuir a identificar las regiones que hacen los mayores aportes de humedad a la lluvia de una región de captación seleccionada y, por ende, ayudará a comprender mejor los lugares aproximados donde la protección o expansión de los bosques podría ser más ventajosa para una región de captación determinada. Por su parte, una cuenca de

precipitación relativa muestra aquellas regiones que efectúan el mayor aporte con respecto a su propia evaporación local y, por ende, es útil para seleccionar las regiones donde será más rentable concentrar los esfuerzos de restauración.

### **Oportunidades de gobernanza en función del contexto**

La gobernanza del reciclaje de la humedad en una determinada cuenca de precipitación o evaporación depende en gran medida del contexto, y varía, por ejemplo, en la cantidad y el tamaño de los países involucrados, la heterogeneidad de los usos del suelo dentro del ámbito de reciclaje de la humedad, la naturaleza y el alcance de las teleconexiones regionales y las dinámicas sociales potencialmente complejas (Keys *et al.*, 2017; Keys y Wang-Erlandsson, 2018). Por ejemplo, es probable que la cuenca de precipitación de una región en Siberia (Federación de Rusia) comprenda un área relativamente homogénea en un solo país, mientras que una región de tamaño similar en África occidental abarcará una amplia gama de usos de la tierra a lo largo de varios países (Keys *et al.*, 2017). Estas diferencias en las particularidades de los sistemas específicos de reciclaje de la humedad son importantes consideraciones que se deben contemplar a la hora de concebir las estrategias de gobernanza (Keys *et al.*, 2017).

La mayoría de las disposiciones actuales relativas a las aguas transfronterizas no se extiende más allá de las cuencas de captación para incluir las regiones donde se origina la producción de humedad atmosférica (Creed y van Noordwijk, 2018; Ellison *et al.*, 2017; Gebrehiwot *et al.*, 2019; Keys *et al.*, 2017), a pesar del evidente interés que deberían generar tales arreglos. Adicionalmente, debido a que es probable que la protección y la restauración de los bosques generen beneficios de lluvias a escala regional, pero potencialmente disminuyan los caudales de los ríos locales, la toma de decisiones a escala local puede priorizar erróneamente las estrategias y políticas de gestión forestal.

Sin embargo, esta sugerencia va en contra de los esfuerzos en curso de muchos países para trasladar los marcos de toma de decisiones institucionales, hoy centralizados, hacia la autonomía local (Creed y van Noordwijk, 2018; Colfer y Capistrano, 2005). El logro de un justo equilibrio entre la autonomía de la gobernanza local y el requisito de efectuar una gestión del agua a una escala mayor, sumado a la necesidad de identificar y compartir equitativamente los beneficios recíprocos de las políticas de gestión del binomio agua-bosque, plantea un desafío considerable.

### **CONCLUSIÓN**

La rápida expansión de los conocimientos sobre el rol de la interacción entre los bosques y el agua en el reciclaje de la humedad aporta nuevas perspectivas importantes sobre la forma en que pueden utilizarse los árboles y los bosques para subsanar la escasez de agua en el marco de soluciones eficaces basadas en la naturaleza. Los árboles y los bosques multiplican el suministro oceánico de recursos de agua dulce a través del reciclaje de la humedad y pueden colaborar en la producción de cultivos al mejorar la disponibilidad general de agua y, por ende, prolongar los períodos vegetativos. Sin la humedad que suministran los bosques, la lluvia terrestre sería considerablemente menor en cantidad y extensión. Visto como una oportunidad, podría incrementarse aún más la humedad suministrada por los bosques de las regiones que se ubican en contra de la dirección del viento si se aumentara la cubierta forestal a lo largo de la trayectoria desde la fuente donde se origina la humedad. Además de mejorar el reciclaje de la humedad, el aumento de la cubierta arbórea y forestal aportaría otros beneficios para el agua, como la moderación de las inundaciones, la purificación del agua, el aumento de la infiltración, el almacenamiento de agua en el suelo, la recarga de agua subterránea y el enfriamiento de la superficie terrestre.

Se requiere un replanteamiento urgente de las estrategias de gestión y de la función

de los gobiernos regionales y nacionales con miras a crear procesos decisorios que puedan considerar y comprender adecuadamente las contribuciones actuales y las potenciales contribuciones futuras de las cuencas de evaporación y de precipitación. La mayoría de los marcos existentes dedicados a la gestión de los bosques y el agua fueron concebidos desde una perspectiva de gestión de las aguas azules centrada en las cuencas situadas aguas arriba y aguas abajo. Pero tales sistemas pasan completamente por alto el papel del reciclaje de la humedad a la hora de determinar la disponibilidad de los recursos de agua dulce en las superficies terrestres. Por ende, hay una necesidad acuciante de reformular o actualizar los marcos institucionales y administrativos actuales para considerar debidamente las relaciones bosque-agua a larga distancia y sus efectos de retroalimentación sobre la disponibilidad total de agua. El rendimiento local del agua debe considerarse en el contexto de la evapotranspiración que ocurre en la dirección opuesta al viento, así como en los aportes que se producen a favor del viento, es decir, el balance hídrico de la escala regional a continental.

Se puede obtener una multiplicidad de beneficios considerables si se aprovechan las soluciones basadas en la naturaleza que los bosques pueden proporcionar. Los sistemas de pago por servicios ecosistémicos brindan un marco potencial para emprender tales estrategias de adaptación basadas en el ecosistema, pero se necesita hacer mucho más para reconocer e identificar ese potencial. A fin de maximizar las sinergias, gestionar las compensaciones y las incertidumbres, así como superar los dilemas éticos que se plantean a través de las diferentes escalas, las soluciones basadas en la naturaleza para el agua que involucren a los árboles y los bosques deberán desarrollarse conjuntamente, y plasmarse en acuerdos institucionales idóneos que reconozcan y contemplan debidamente los intereses de todas las partes interesadas.

#### AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecerle a Patrick Keys por sus comentarios y aportes al presente artículo. Asimismo, Lan Wang-Erlandsson agradece el financiamiento otorgado por Formas, el Consejo sueco de investigación (subvención 2018-02345, proyecto sobre resiliencia e interacción entre el agua, la tierra y el clima) y por el Consejo de Investigación Europeo en el marco del programa de investigación e innovación *Horizon 2020* de la Unión Europea (acuerdo de subvención 743080, proyecto sobre la resiliencia de la Tierra en el Antropoceno). ♦



#### Referencias

- Abbott, B.W., Bishop, K., Zarnetske, J.P., Minaudo, C., Chapin, F.S., Krause, S., et al.** 2019. Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nature Geoscience*, 1. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0374-y>
- Bagley, J.E., Desai, A.R., Dirmeyer, P.A. y Foley, J.A.** 2012. Effects of land cover change on moisture availability and potential crop yield in the world's breadbaskets. *Environmental Research Letters*, 7(1): 014009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/1/014009>
- Bargués Tobella, A., Reese, H., Almaw, A., Bayala, J., Malmer, A., Laudon, H. y Ilstedt, U.** 2014. The effect of trees on preferential flow and soil infiltrability in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso. *Water Resources Research*, 50(4): 3342–3354. <https://doi.org/10.1002/2013WR015197>
- Bennett, B.M. y Barton, G.A.** 2018. The enduring link between forest cover and rainfall: a historical perspective on science and policy discussions. *Forest Ecosystems*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0124-9>
- Boers, N., Marwan, N., Barbosa, H.M.J. y Kurths, J.** 2017. A deforestation-induced tipping point for the South American monsoon system. *Scientific Reports*, 7: 41489–41489. <https://doi.org/10.1038/srep41489>
- Bright, R.M., Davin, E., O'Halloran, T., Pongratz, J., Zhao, K. y Cescatti, A.** 2017. Local temperature response to land cover and management change driven by non-radiative processes. *Nature Climate Change*, 7(4): 296–302. <https://doi.org/10.1038/nclimate3250>
- Bruijnzeel, L.A.** 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1): 185–228. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015>
- Bruijnzeel, L.A., Mulligan, M. y Scatena, F.N.** 2011. Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: emerging patterns. *Hydrological Processes*, 25(3): 465–498. <https://doi.org/10.1002/hyp.7974>
- Calder, I.R., Hofer, T., Vermont, S. y Warren, P.** 2007. Towards a new understanding of forests and water. *Unasylva*, 58(229): 3–10.
- Coenders-Gerrits, A.M.J., van der Ent, R.J., Bogaard, T.A., Wang-Erlandsson, L., Hrachowitz, M. y Savenije, H.H.G.** 2014. Uncertainties in transpiration estimates. *Nature*, 506(7487): E1–E2. <https://doi.org/10.1038/nature12925>
- Colfer, C.J.P. y Capistrano, D., eds.** 2005. *The politics of decentralization: forests, power, and people*. Londres, Reino Unido, y Sterling, Estados Unidos, Earthscan. 322 p.
- Creed, I.F. y van Noordwijk, M., eds.** 2018. *Forest and water on a changing planet: vulnerability, adaptation and governance opportunities. A global assessment report*. IUFRO World Series Volume 38. Viena, Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO). 192 p.
- Crowther, T.W., Glick, H.B., Covey, K.R., Bettigole, C., Maynard, D.S., Thomas, S.M., et al.** 2015. Mapping tree density at a global scale. *Nature*, 525(7568): 201–205. <https://doi.org/10.1038/nature14967>
- Dalton, J., Ellison, D., McCartney, M., Pittock, J. y Smith, B.** 2016. Can't see the water for the trees? *Global Water Forum*, 3 de octubre de 2016.

- DeFries, R.S., Rudel, T., Uriarte, M. y Hansen, M.** 2010. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 3(3): 178–181.
- Dennedy-Frank, P.J. y Gorelick, S.M.** 2019. Insights from watershed simulations around the world: Watershed service-based restoration does not significantly enhance streamflow. *Global Environmental Change*, 58: 101938. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101938>
- Dirmeyer, P.A., Brubaker, K.L. y DelSole, T.** 2009. Import and export of atmospheric water vapor between nations. *Journal of Hydrology*, 365(1–2): 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.11.016>
- Dirmeyer, P.A., Wei, J., Bosilovich, M.G. y Mocko, D.M.** 2014. Comparing Evaporative sources of terrestrial precipitation and their extremes in MERRA using relative entropy. *Journal of Hydrometeorology*, 15(1): 102–116. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-053.1>
- Ellison, D.** 2018. *From myth to concept and beyond – the biogeophysical revolution and the forest-water paradigm*. UNFF13 Background Analytical Study on Forests and Water. Foro de las Naciones Unidas sobre los Bosques (FNUB) (disponible en <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.26268.80004>).
- Ellison, D., Futter, M.N. y Bishop, K.** 2012. On the forest cover–water yield debate: from demand- to supply-side thinking. *Global Change Biology*, 18(3): 806–820. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02589.x>
- Ellison, D., Morris, C.E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., et al.** 2017. Trees, forests and water: cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43: 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>
- Escobar, H.** 2015. Drought triggers alarms in Brazil's biggest metropolis. *Science*, 347(6224): 812–812. <https://doi.org/10.1126/science.347.6224.812>
- Falkenmark, M. y Rockström, J.** 2006. The new blue and green water paradigm: breaking new ground for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(3): 129–132. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2006\)132:3\(129\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2006)132:3(129))
- Fan, Y., Miguez-Macho, G., Jobbágy, E.G., Jackson, R.B. y Otero-Casal, C.** 2017. Hydrologic regulation of plant rooting depth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(40): 10572–10577. <https://doi.org/10.1073/pnas.1712381114>
- Filoso, S., Bezerra, M.O., Weiss, K.C.B. y Palmer, M.A.** 2017. Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. *PloS ONE*, 12(8): e0183210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183210>
- Gebrehiwot, S.G., Ellison, D., Bewket, W., Seleshi, Y., Inogwabini, B.-I. y Bishop, K.** 2019. The Nile Basin waters and the West African rainforest: rethinking the boundaries. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(1): e1317. <https://doi.org/10.1002/wat2.1317>
- Ghazoul, J. y Sheil, D.** 2010. *Tropical rain forest ecology, diversity, and conservation*. Oxford University Press. 536 p. (disponible en <https://global.oup.com/academic/product/tropical-rain-forest-ecology-diversity-and-conservation-9780199285884>).
- Gleick, P.H. y Palaniappan, M.** 2010. Peak water limits to freshwater withdrawal and use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(25): 11155–11162. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004812107>
- Hesslerová, P., Pokorný, J., Brom, J. y Rejšková-Procházková, A.** 2013. Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural landscape: consequences for the local climate. *Ecological Engineering*, 54: 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.036>
- Hoekstra, A.Y.** 2011. The global dimension of water governance: why the river basin approach is no longer sufficient and why cooperative action at global level is needed. *Water*, 3(1). <https://doi.org/10.3390/w3010021>
- Hoekstra, A.Y. y Mekonnen, M.M.** 2012. The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9): 3232–3237.
- Istedt, U., Bargaúes Tobella, A., Bazié, H.R., Bayala, J., Verbeeten, E., Nyberg, G., et al.** 2016. Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports*, 6: 21930.
- IUFRO.** 2018. *Global fire challenges in a warming world*. F-N. Robinne, J. Burns, P. Kant, B. de Groot, M.D. Flannigan, M. Kleine y D.M. Wotton, eds. Occasional Paper No. 32. Viena, Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO).
- Jackson, R.B., Jobbágy, E.G., Avissar, R., Roy, S.B., Barrett, D.J., Cook, C.W., Farley, K.A., Maitre, D.C. le, McCarl, B.A. y Murray, B.C.** 2005. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science*, 310(5756): 1944–1947. <https://doi.org/10.1126/science.1119282>
- Keys, P.W., van der Ent, R.J., Gordon, L.J., Hoff, H., Nikoli, R. y Savenije, H.H.G.** 2012. Analyzing precipitationsheds to understand the vulnerability of rainfall dependent regions. *Biogeosciences*, 9(2): 733–746. <https://doi.org/10.5194/bg-9-733-2012>
- Keys, P.W., Wang-Erlandsson, L. y Gordon, L.J.** 2016. Revealing invisible water: moisture recycling as an ecosystem service. *PLoS ONE*, 11(3): e0151993. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151993>
- Keys, P.W., Wang-Erlandsson, L. y Gordon, L.J.** 2018. Megacity precipitationsheds reveal tele-connected water security challenges. *PLoS ONE*, 13(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194311>
- Keys, P.W., Wang-Erlandsson, L., Gordon, L.J., Galaz, V. y Ebbesson, J.** 2017. Approaching moisture recycling governance. *Global Environmental Change*, 45: 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.04.007>
- Kleidon, A., Fraedrich, K. y Heimann, M.** 2000. A green planet versus a desert world: estimating the maximum effect of vegetation on the land surface climate. *Climatic Change*, 44(4): 471–493. <https://doi.org/10.1023/A:1005559518889>
- Lawrence, D. y Vandecar, K.** 2015. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nature Climate Change*, 5(1):

- 27–36. <https://doi.org/10.1038/nclimate2430>
- Lovejoy, T.E. y Nobre, C.** 2018. Amazon tipping point. *Science Advances*, 4(2): eaat2340. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat2340>
- Martin-Ortega, J., Ojea, E. y Roux, C.** 2013. Payments for water ecosystem services in Latin America: a literature review and conceptual model. *Ecosystem Services*, 6: 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.09.008>
- McDonnell, J.J., Evaristo, J., Bladon, K.D., Buttle, J., Creed, I.F., Dymond, S.F., et al.** 2018. Water sustainability and watershed storage. *Nature Sustainability*, 1(8): 378–379. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0099-8>
- Mekonnen, M.M. y Hoekstra, A.Y.** 2016. Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2): e1500323. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>
- Miralles, D.G., Jiménez, C., Jung, M., Michel, D., Ershadi, A., McCabe, M.F., et al.** 2016. The WACMOS-ET project – Part 2: Evaluation of global terrestrial evaporation data sets. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(2): 823–842. <https://doi.org/10.5194/hess-20-823-2016>
- Molina, R.D., Salazar, J.F., Martínez, J.A., Villegas, J.C. y Arias, P.A.** 2019. Forest-induced exponential growth of precipitation along climatological wind streamlines over the Amazon. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(5): 2589–2599. <https://doi.org/10.1029/2018JD029534>
- Nazareno, A.G. y Laurance, W.F.** 2015. Brazil's drought: beware deforestation. *Science*, 347(6229): 1427. <https://doi.org/10.1126/science.347.6229.1427-a>
- Nobre, A.D.** 2014. *The future climate of Amazonia, scientific assessment report*. 42 p. São José dos Campos, Brasil (disponible en [www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/11/The\\_Future\\_Climate\\_of\\_Amazonia\\_Report.pdf](http://www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/11/The_Future_Climate_of_Amazonia_Report.pdf)).
- Oki, T. y Kanae, S.** 2006. Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, 313(5790): 1068–1072. <https://doi.org/10.1126/science.1128845>
- Oliveira, L.J.C., Costa, M.H., Soares-Filho, B.S. y Coe, M.T.** 2013. Large-scale expansion of agriculture in Amazonia may be a no-win scenario. *Environmental Research Letters*, 8(2): 024021–024021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024021>
- Rocha, J.C., Peterson, G., Bodin, Ö. y Levin, S.** 2018. Cascading regime shifts within and across scales. *Science*, 362(6421): 1379–1383. <https://doi.org/10.1126/science.aat7850>
- Rockström, J. y Gordon, L.** 2001. Assessment of green water flows to sustain major biomes of the world: implications for future ecohydrological landscape management. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 26(11–12): 843–851. [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(01\)00096-X](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(01)00096-X)
- Rodell, M., Beaudoin, H.K., L'Ecuyer, T.S., Olson, W.S., Famiglietti, J.S., Houser, P.R., et al.** 2015. The observed state of the water cycle in the early twenty-first century. *Journal of Climate*, 28(21): 8289–8318. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00555.1>
- Schlesinger, W.H. y Jasechko, S.** 2014. Transpiration in the global water cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 189–190: 115–117. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.01.011>
- Schyns, J.F., Booij, M.J. y Hoekstra, A.Y.** 2017. The water footprint of wood for lumber, pulp, paper, fuel and firewood. *Advances in Water Resources*, 107 (Supplement C): 490–501. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.05.013>
- Schyns, J.F., Hoekstra, A.Y., Booij, M.J., Hogeboom, R.J. y Mekonnen, M.M.** 2019. Limits to the world's green water resources for food, feed, fiber, timber, and bioenergy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201817380. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817380116>
- Sheil, D.** 2014. How plants water our planet: advances and imperatives. *Trends in Plant Science*, 19(4): 209–211. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.01.002>
- Sheil, D. y Murdiyasar, D.** 2009. How forests attract rain: an examination of a new hypothesis. *BioScience*, 59(4): 341–347. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.4.12>
- Staal, A., Dekker, S.C., Hirota, M. y van Nes, E.H.** 2015. Synergistic effects of drought and deforestation on the resilience of the south-eastern Amazon rainforest. *Ecological Complexity*, 22: 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2015.01.003>
- Staal, A., Tuinenburg, O.A., Bosmans, J.H.C., Holmgren, M., van Nes, E.H., Scheffer, M., Zemp, D.C. y Dekker, S.C.** 2018. Forest-rainfall cascades buffer against drought across the Amazon. *Nature Climate Change*, 8(6): 539–543. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0177-y>
- Teuling, A.J., Seneviratne, S.I., Stöckli, R., Reichstein, M., Moors, E., Ciais, P., et al.** 2010. Contrasting response of European forest and grassland energy exchange to heatwaves. *Nature Geoscience*, 3(10): 722–727. <https://doi.org/10.1038/ngeo950>
- Trabucco, A., Zomer, R.J., Bossio, D.A., van Straaten, O. y Verchot, L.V.** 2008. Climate change mitigation through afforestation/reforestation: a global analysis of hydrologic impacts with four case studies. *International Agricultural Research and Climate Change: A Focus on Tropical Systems*, 126(1–2): 81–97. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.01.015>
- Trenberth, K.E., Fasullo, J. y Mackaro, J.** 2011. Atmospheric moisture transports from ocean to land and global energy flows in reanalyses. *Journal of Climate*, 24(18): 4907–4924. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4171.1>
- van der Ent, R.J. y Savenije, H.H.G.** 2011. Length and time scales of atmospheric moisture recycling. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(5): 1853–1863. <https://doi.org/10.5194/acp-11-1853-2011>
- van der Ent, R.J. y Savenije, H.H.G.** 2013. Oceanic sources of continental precipitation and the correlation with sea surface temperature. *Water Resources Research*, 49: 3993–4004. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20296>
- van der Ent, R.J., Savenije, H.H.G., Schaeffli, B. y Steele-Dunne, S.C.** 2010. Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Research*, 46(9). <https://doi.org/10.1029/2010WR009127>
- van der Ent, R.J. y Tuinenburg, O.A.** 2017. The residence time of water in the atmosphere revisited. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(2): 779–790. <https://doi.org/10.5194/hess-21-779-2017>

- van der Ent, R.J., Wang-Erlandsson, L., Keys, P.W. y Savenije, H.H.G.** 2014. Contrasting roles of interception and transpiration in the hydrological cycle – Part 2: moisture recycling. *Earth Systems Dynamics*, 5(2): 471–489. <https://doi.org/10.5194/esd-5-471-2014>
- van Noordwijk, M. y Ellison, D.** 2019. Rainfall recycling needs to be considered in defining limits to the world's green water resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201903554. <https://doi.org/10.1073/pnas.1903554116>
- van Noordwijk, M., Namirembe, S., Catacutan, D., Williamson, D. y Gebrekirstos, A.** 2014. Pricing rainbow, green, blue and grey water: tree cover and geopolitics of climatic teleconnections. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6: 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.008>
- van Noordwijk, M., Tanika, L. y Lusiana, B.** 2017. Flood risk reduction and flow buffering as ecosystem services – Part 1: Theory on flow persistence, flashiness and base flow. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(5): 2321–2340. <https://doi.org/10.5194/hess-21-2321-2017>
- Wang-Erlandsson, L., Bastiaanssen, W.G.M., Gao, H., Jägermeyr, J., Senay, G.B., van Dijk, A.I.J.M., Guerschman, J.P., Keys, P.W., Gordon, L.J. y Savenije, H.H.G.** 2016. Global root zone storage capacity from satellite-based evaporation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(4): 1459–1481. <https://doi.org/10.5194/hess-20-1459-2016>
- Wang-Erlandsson, L., Fetzer, I., Keys, P.W., van der Ent, R.J., Savenije, H.H.G. y Gordon, L.J.** 2018. Remote land use impacts on river flows through atmospheric teleconnections. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(8): 4311–4328. <https://doi.org/10.5194/hess-22-4311-2018>
- Wang-Erlandsson, L., van der Ent, R.J., Gordon, L.J. y Savenije, H.H.G.** 2014. Contrasting roles of interception and transpiration in the hydrological cycle – Part 1: Temporal characteristics over land. *Earth System Dynamics*, 5(2): 441–469. <https://doi.org/10.5194/esd-5-441-2014>
- Wei, Z., Yoshimura, K., Wang, L., Miralles, D.G., Jasechko, S. y Lee, X.** 2017. Revisiting the contribution of transpiration to global terrestrial evapotranspiration. *Geophysical Research Letters*, 44(6): 2792–2801. <https://doi.org/10.1002/2016GL072235>
- Weng, W., Costa, L., Lüdeke, M.K.B. y Zemp, D.C.** 2019. Aerial river management by smart cross-border reforestation. *Land Use Policy*, 84: 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.03.010>
- Zemp, D.C., Schleussner, C-F., Barbosa, H.M.J., Hirota, M., Montade, V., Sampaio, G., Staal, A., Wang-Erlandsson, L. y Rammig, A.** 2017. Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation-atmosphere feedbacks. *Nature Communications*, 8: 14681. <https://doi.org/10.1038/ncomms14681> ◆

# Bosques y sistemas agrosilvopastorales de tierras secas: el agua como eje central

A.D. del Campo, M. González-Sanchis, U. Ilstedt,  
A. Bargaés-Tobella y S. Ferraz



"LEADING GOATS HOME". POR TASECHO. BAJO LICENCIA CC BY-NC-ND 2.0

*Es esencial adoptar un enfoque centrado en el agua para mantener la resiliencia de las tierras secas boscosas ante el cambio climático.*

**Antonio del Campo** es profesor asociado en el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA), Universidad Politécnica de Valencia, España.

**María González-Sanchis** es investigadora en el IIAMA, Universidad Politécnica de Valencia, España.

**Ulrik Ilstedt** es profesor asistente en el Departamento de Ecología y Gestión Forestal de la Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas (SLU).

**Aida Bargaés-Tobella** es investigadora postdoctoral en el Departamento de Ecología y Gestión Forestal, Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas, y en el Centro Mundial de Agrosilvicultura.

**Silvio Ferraz** es profesor en el Departamento de Ciencias Forestales, Universidad de San Pablo, Brasil.

Los sistemas de tierras secas están presentes en todos los continentes y cubren alrededor del 41 % de la superficie terrestre, cifra que ha tenido escasa variación en los últimos decenios (Cherlet *et al.*, 2018). Las tierras secas difieren en su déficit de humedad y pueden clasificarse en cuatro subtipos, de acuerdo con el índice de aridez (IA) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)<sup>1</sup>, a saber subhúmedo seco (0,65–0,5), semiárido (0,5–0,2), árido (0,2–0,05) o hiperárido (<0,05) (Figura 1).<sup>2</sup> Los bosques y los pastizales son los biomas dominantes en los subtipos subhúmedo seco y semiárido, respectivamente (más del 60 % de la superficies de los subtipos). Por otro lado, los subtipos árido e hiperárido son, en su mayoría, zonas sin árboles (FAO, 2016),

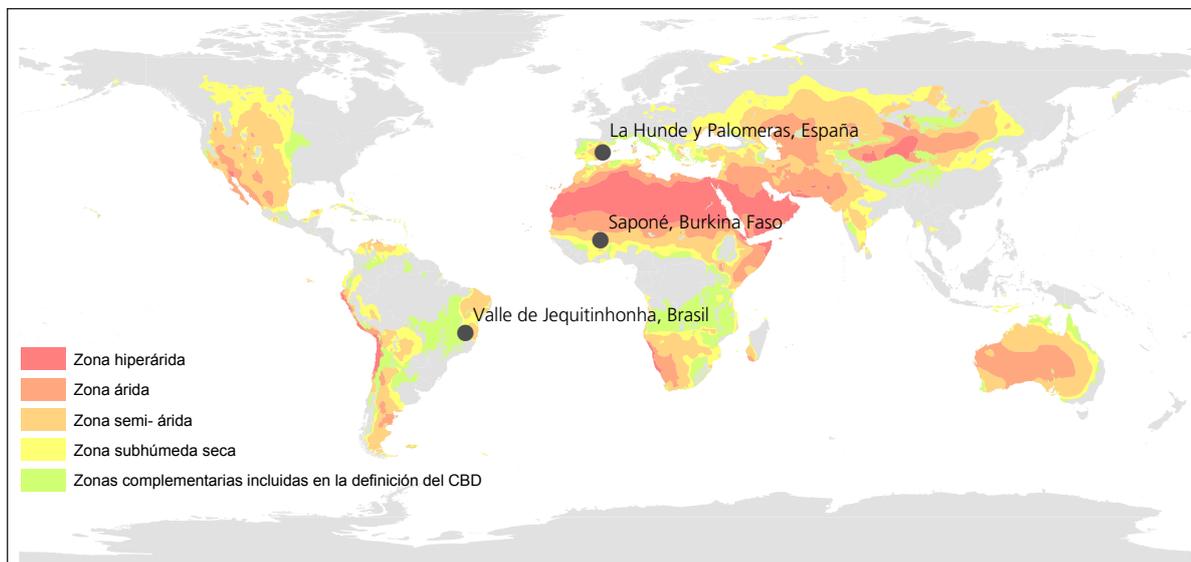
por lo que quedan fuera del alcance de este artículo.

Según su definición intrínseca (es decir, por el IA), la evapotranspiración potencial anual (ETP) en tierras secas subhúmedas y semiáridas es considerablemente mayor que la precipitación anual, y hay frecuentes sequías meteorológicas. Estos factores atmosféricos conducen a una baja humedad del suelo y ello, a su vez, determina un crecimiento lento de los árboles y una baja productividad, lo que redonda en un contexto socioecológico de escasez de agua.

<sup>1</sup> El IA se calcula como la precipitación (P) dividida entre la ETP.

<sup>2</sup> Adicionalmente, la delineación del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) incluye algunas áreas con presuntas características de tierras secas en las que  $P/ETP > 0,65$  (Secretaría del CDB, 2010).

## 1 Zonas de tierras secas del mundo



*Nota:* Las categorías de tierras secas se establecen según las definiciones de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Los círculos negros muestran la ubicación de los casos de estudio.

*Fuente:* PNUMA-WCMC (2007).

La marcada estacionalidad de las lluvias, con fenómenos torrenciales seguidos de largos períodos de sequía y la combinación de una alta variabilidad intra e interanual, ubican a estas regiones dentro del marco hidrológico catalogado como «difícil»,

puesto que obstaculiza la seguridad del agua, el desarrollo sostenible y la reducción de la pobreza (Gray y Sadoff, 2007).

Se prevé que, para fines del siglo XXI, el cambio climático provocará un aumento en la superficie mundial de tierras secas,

que se incrementarán del 10 al 23 %, cifra que dependerá del subtipo de tierra seca, especialmente en zonas de América del Norte y del Sur, el Mediterráneo, el sur de África, Australia, Medio Oriente y Asia Central (Cherlet *et al.*, 2018). Es probable

*La combinación de usos de la tierra (como la agricultura, los bosques, los pastizales y las tierras yermas que se muestran aquí) y prácticas de gestión (como los tratamientos del suelo y los diques de consolidación) interactúa con el clima y los procesos del suelo, y afecta la regulación y magnitud de los problemas relacionados con el agua*



© A. DEL CAMPIO, 2009

que la intensificación de las precipitaciones y otros fenómenos climáticos extremos en condiciones más cálidas aumenten la escasez de agua y los déficits de humedad en las tierras secas y demás zonas.

Las limitaciones climáticas aumentan la función de los procesos y las propiedades del suelo en la regulación y magnitud de los problemas vinculados con el agua en las tierras secas, especialmente los relacionados con el almacenamiento de recursos (por ejemplo, profundidad del suelo, infiltrabilidad, almacenamiento en aguas profundas y erosión). Por lo tanto, las prácticas de uso y manejo de la tierra, y especialmente las soluciones basadas en la naturaleza, son extremadamente importantes para el complejo suelo-agua-productividad.

El presente artículo emplea estudios de caso en tierras secas de tres continentes con el objetivo de demostrar la importancia de adoptar un enfoque centrado en el agua para el manejo de las tierras secas a fin de aumentar la resiliencia y la adaptación al cambio climático.

### **PROCESOS DE LOS ECOSISTEMAS FORESTALES Y CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LOS ÁRBOLES**

Los sistemas agrosilvopastorales y los bosques de tierras secas enfrentan desafíos específicos en comparación con otros tipos de vegetación. La escasa disponibilidad de agua, el bajo crecimiento y los regímenes que sufren perturbaciones sin precedentes (por ejemplo, incendios forestales y brotes de plagas), agravados por el cambio climático, los hacen menos resilientes y más propensos a sufrir cambios que los llevan a estados menos productivos (desertificación) (Johnstone *et al.*, 2016). A su vez, las presiones de origen antropogénico (como las que imponen el pastoreo, el ramoneo, la sobreexplotación forestal y la deforestación) agregan complejidad y efectos de retroalimentación.

En las tierras secas, la ecohidrología se refleja principalmente en la estrecha relación que existe entre la cubierta del suelo y el agua; es decir, la estructura

del bosque, tanto física (densidad de los árboles, cubierta de copas y área basal), como biológica (composición de especies), tiene un impacto directo en la disponibilidad de los recursos hídricos (Bosch y Hewlett, 1982), lo que afecta a variables como la infiltración, la evapotranspiración, la escorrentía superficial (y la erosión) y la recarga de aguas subterráneas. Por un lado, la disminución de la cubierta de copas aumenta la precipitación neta, lo que a su vez puede aumentar la humedad del suelo y los flujos de agua relacionados, como la recarga de aguas subterráneas y el rendimiento del agua, y la evaporación del suelo. Por otro lado, la cobertura arbórea elevada aumenta la interceptación y la transpiración, al tiempo que maximiza la protección del suelo y mejora la capacidad de infiltración del suelo. En las tierras secas resulta esencial considerar explícitamente las compensaciones que se producen entre los diversos procesos hidrológicos y la vegetación cuando se trata del almacenamiento de recursos (es decir, suelo y agua). Por otra parte, las características relacionadas con el agua de las especies arbóreas (por ejemplo, arquitectura de copas y raíces, densidad de la madera e índice de área foliar) son factores importantes que afectan la redistribución y el posterior uso del agua en el perfil del suelo.

### **ENFOCARSE EN EL AGUA EN LOS OBJETIVOS Y OPCIONES DE GESTIÓN**

Las tierras secas proporcionan una amplia gama de bienes y servicios ecosistémicos, pero a menudo se subestima su potencial porque se percibe erróneamente que son improductivas (White y Nackoney, 2003). Las tierras secas apuntalan los medios de vida de más de un tercio de la población humana mundial al suministrar alimentos, forraje para el ganado y agua potable. También proporcionan hábitats para especies adaptadas de manera única a ambientes variables y extremos, que, a su vez, constituyen fuentes de material genético para desarrollar

variedades resistentes a la sequía. Debido a su gran extensión, las tierras secas pueden almacenar grandes cantidades de carbono (Lal, 2004).

La provisión de todos estos bienes y servicios ecosistémicos depende esencialmente de la disponibilidad de agua, que a menudo es limitada, variable e impredecible, pero también es fundamental para apoyar a la flora y la fauna. La dinámica de la vegetación, los flujos suelo-agua y el clima están estrechamente ligados en las tierras secas. La capacidad para hacer frente a la escasez temporal de agua es esencial, tanto para el sustento de las personas como para los propios ecosistemas. Por lo tanto, el agua es el elemento clave de la resiliencia socioecológica de las tierras secas y debe constituir una base cuantitativa en todo enfoque de gestión (Falkenmark, Wang-Erlandsson y Rockström, 2019).

En ambientes más húmedos, durante mucho tiempo se ha cuantificado el rendimiento del agua como parte del manejo del ecosistema (Bosch y Hewlett, 1982). En los ecosistemas de tierras secas, el agua no solo debe cuantificarse, sino que debe ser el eje central de la planificación y gestión de la tierra. Más específicamente, debería hacerse hincapié en el agua del suelo y en la recarga del acuífero en lugar de aumentar la escorrentía total o el curso de agua. El agua subterránea es el principal recurso hídrico de las tierras secas debido a que los recursos de agua superficial son generalmente escasos y poco confiables; por lo tanto, deberá procurarse maximizar la recarga de agua subterránea como un medio para aumentar la resiliencia socioecológica de las tierras secas.

### **ESTUDIO DE CASOS**

A continuación se presentan tres estudios de casos de tierras secas en tres continentes que demuestran la forma en que la gestión centrada en el agua puede mejorar los caudales hídricos y los medios de vida locales, aumentar la resiliencia y adaptación al cambio climático y reducir el riesgo de desastres.

## Reforestación con pinos en tierras secas

Monte La Hunte y Palomera (950 metros sobre el nivel del mar) es un bosque de tierras secas de propiedad pública, ubicado en el este de España (Figura 2). El bosque cubre 4 700 hectáreas, e incluye 887 hectáreas de pino de Alepo homogéneo (*Pinus halepensis*), plantado entre 1945 y 1970 como parte de un programa nacional de forestación. El bosque de pinos de Alepo tiene una alta densidad de árboles (más de 1 500 árboles por hectárea, para aumentar la protección del suelo) y escasa intervención silvícola. La ausencia de intervención es común en muchos bosques protectores del Mediterráneo.

La región forestal de Monte La Hunte y Palomera tiene una IA de 0,62, una temperatura media anual de 13,7 °C y una precipitación de 465 milímetros (1960–2007). Los suelos son poco profundos, con altas concentraciones de carbonato, un pH básico y una textura franco arenosa-limosa.

La ausencia de gestión forestal, combinada con las características climáticas de las tierras secas, ha producido un bosque



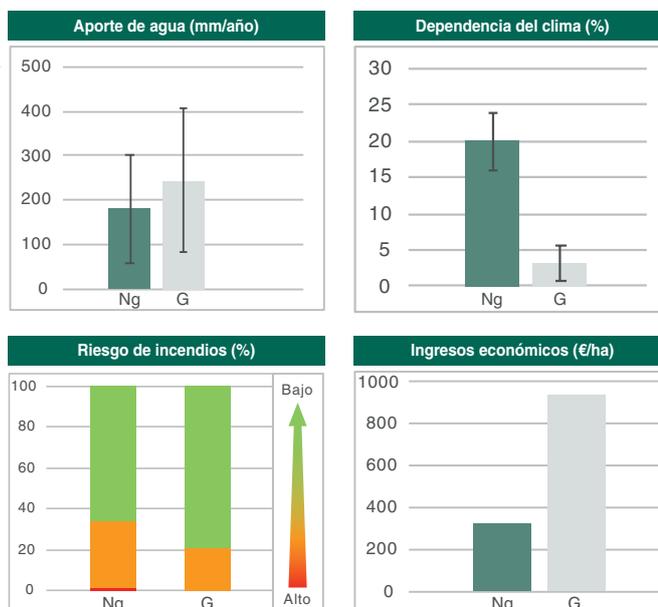
**Bosque de pinos de Alepo en Monte La Hunte y Palomera, al este de España**

denso en el que se estanca el crecimiento; intercepta alrededor del 40 % de la precipitación bruta y compite fuertemente por el otro 60 % (del Campo *et al.*, 2017, y referencias mencionadas). Como consecuencia, el bosque es altamente susceptible a las fluctuaciones climáticas (como la

variabilidad de la lluvia), lo que aumenta su vulnerabilidad al cambio climático. La infiltración y percolación de agua es esencial, no solo para el bosque en sí mismo, sino también para alimentar dos complejos sistemas de acuíferos: Mancha Oriental (7 000 km<sup>2</sup>) y Alpera (400 km<sup>2</sup>). Los dos acuíferos comprenden la principal fuente de agua de 127 000 hectáreas de cultivos de campo, pero han sufrido episodios de sequías recurrentes en los últimos 20 años.

En este contexto, el objetivo del manejo forestal debe ser mejorar el crecimiento y el vigor de los árboles (lo que reduce la vulnerabilidad climática del bosque) y la protección del suelo, al tiempo que se aumenta el caudal del agua de captación y su aporte a los usuarios ubicados aguas abajo. Por lo tanto, se realizó un aclareo desde abajo con diferentes intensidades (mayor en los sitios planos y moderada a leve en los sitios más empinados) en un bosque muy denso, lo que dio lugar a una alternancia entre zonas de cortafuegos y de recarga de aguas subterráneas (densidad de árboles <170 árboles por hectárea), y zonas de densidad moderada de árboles (450–700 árboles por hectárea), suficiente para promover el vigor y la infiltración de los árboles sin reducir la protección del

### 2 Resultados del manejo de ecosistemas en los estudios de caso



Notas: Aporte de agua de los bosques (mm/año); dependencia del clima (dependencia del crecimiento de la precipitación mensual previa en %); riesgo de incendios (porcentaje de días/año con riesgo de incendio muy alto [rojo], alto [naranja] y bajo [verde]); ingresos económicos (euros por ha), (véase del Campo *et al.* 2017 para consultar referencias específicas). Ng = No gestionado, G = Gestionado.



© A. CAMARA

Recolección de pinos de Alepo en el bosque Monte La Hunde y Palomera, al este de España

suelo. Este enfoque de manejo se centra en los suelos, los árboles, el agua y los factores climáticos, y puede considerarse como un manejo forestal basado en la ecohidrología. Ha demostrado ser capaz de balancear las compensaciones de una multiplicidad de objetivos: se redujo la interceptación de la copa y la transpiración del rodal; aumentaron la infiltración de agua del suelo, la percolación profunda, la transpiración de los árboles y los aportes de agua a los acuíferos; y se alteraron los modelos de combustible. Los cambios en la gestión han dado lugar a un bosque con menos vulnerabilidad climática y menor riesgo de incendios (del Campo *et al.*, 2017, y referencias mencionadas). Por ende, ese bosque es más capaz de enfrentar perturbaciones relacionadas con el cambio climático.

El manejo forestal ecohidrológico también tiene beneficios sociales y económicos en toda la cuenca de captación. Por ejemplo, el incremento del caudal de agua aumenta la capacidad de los usuarios para hacer frente a la sequía. La reducción del riesgo de incendios disminuye la sensación pública de inseguridad, que es

especialmente importante en la interfaz urbano-forestal, y potencialmente evita los costos de los perjuicios provocados por los incendios forestales y el gasto de la restauración forestal. Tales beneficios surgen cuando se considera al agua como el eje central del enfoque de gestión.

**Parques agroforestales: hay una multiplicidad de objetivos, pero «el agua es una sola»**

Saponé es un municipio rural ubicado en el centro de Burkina Faso, en África occidental. Los suelos dominantes son

lixisoles férricos, con bajo contenido de nutrientes y texturas arenoso-arcillosas y franco arenosas. La precipitación media anual en Uagadugú (30 kilómetros al norte de Saponé) fue de 790 milímetros en el período 1952–2014 (en un rango de 570–1 189 milímetros). La mayor parte de la lluvia se produce en una única estación lluviosa, que se extiende de abril a octubre. La evapotranspiración potencial anual media y la AI media (período 1974–2003) equivalen a 1 900 milímetros y 0,38, respectivamente.

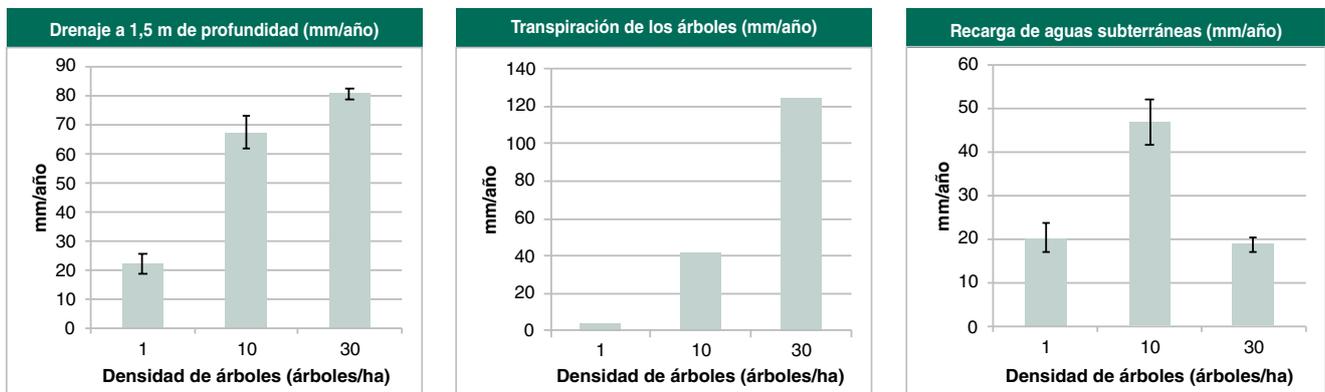
El paisaje se caracteriza por una cubierta arbórea abierta (30 árboles por hectárea), dominada por *Vitellaria paradoxa* (karité), con cultivos anuales como el mijo perla, el sorgo, el maní y el caupí que se cultivan bajo los árboles dispersos. Estos bosques abiertos cultivados se denominan parques agroforestales, y constituyen el sistema agrícola predominante en la región sudano-saheliana de África occidental, que cubre grandes áreas (Boffa, 1999). Los árboles se conservan y se promueven especialmente en las fincas debido a los beneficios que brindan a las comunidades locales, lo que incluye la provisión de frutas, nueces, sombra, medicamentos y forraje para el ganado.

La lluvia es extremadamente variable en Saponé. La temporada de lluvias, relativamente corta, se caracteriza por algunos fenómenos intensos distribuidos de manera desigual a lo largo del tiempo, y existe una



© A. CAMARA

Parques agroforestales de Saponé, Burkina Faso



3

### Resultados del manejo de ecosistemas en Saponé; tres densidades de árboles

Nota: Recarga de agua subterránea (mm/año); transpiración de árboles (mm/año) y drenaje a 1,5 m de profundidad (mm/año) para densidades de árboles de 1, 10 y 30 árboles/ha.

gran variabilidad espacial e interanual en materia de lluvias. Los suelos tienen una baja estabilidad estructural y son sumamente vulnerables a la degradación física, como la disminución de la capacidad de infiltración del suelo, lo que se traduce en escasas oportunidades para la recarga del suelo y del agua subterránea y una mayor prevalencia de flujos superficiales de agua por exceso de infiltración. Esto, a su vez, aumenta el riesgo de que se produzcan sequías agrícolas, erosión e inundaciones, lo que impone restricciones considerables en el suministro de agua y la producción de alimentos, particularmente dado el predominio de los cultivos de secano. La degradación física suele ser el resultado habitual del uso de la tierra, la conversión de la cubierta terrestre y la presión del ser humano en general; por lo tanto, los enfoques de gestión diseñados para mejorar los medios de vida locales deberían apuntar a aumentar la recarga del suelo y del agua subterránea.

Los árboles consumen más agua que los tipos de vegetación más cortos, como los cultivos y los pastos (Zhang, Dawes y Walker, 2001). Habida cuenta de esto, a menudo se desaconseja el aumento de la cobertura arbórea en las tierras secas, puesto que podría poner en peligro los valiosos recursos de agua (Jackson *et al.*, 2005). Pero los resultados de los estudios realizados en los parques agroforestales de Saponé revelan una historia con mayores

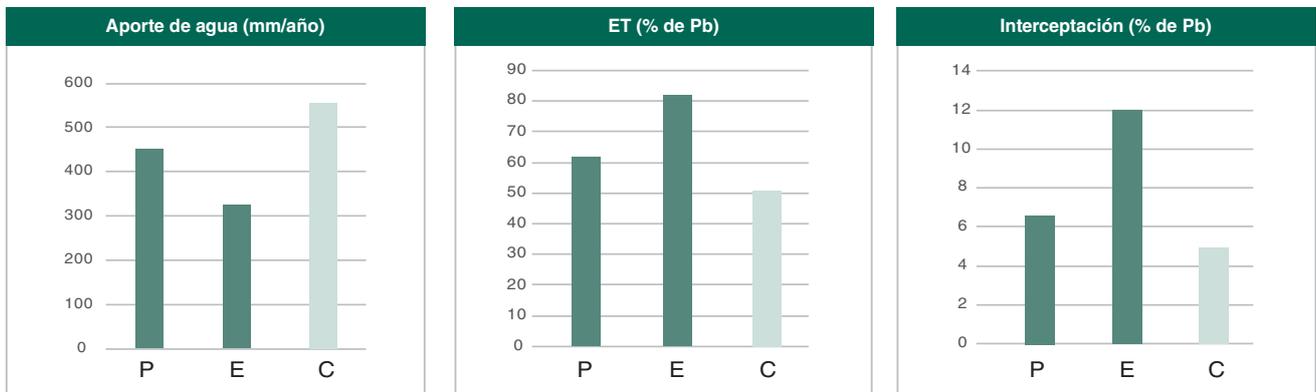
matices. El drenaje de agua del suelo que se recolectó a una profundidad de 1,5 metros era mayor en la zona ubicada debajo del borde de la copa de los árboles y disminuía, tanto hacia el tallo del árbol como hacia el centro de las zonas abiertas adyacentes entre los árboles (Ilstedt *et al.*, 2016). Por lo tanto, había poca agua disponible para la recarga de agua subterránea, tanto cerca del tallo de los árboles como en las zonas abiertas alejadas de los árboles. Las pérdidas por interceptación y transpiración son mayores en la zona alrededor del tallo de los árboles, lo que explica que se produce una reducción en el drenaje profundo en dichas zonas. Por otro lado, la disminución que se observa en el drenaje de agua cuando se aumenta la distancia desde los bordes de las copas de los árboles hacia las zonas abiertas puede atribuirse a la disminución simultánea que se observa en la capacidad de infiltración y en el flujo preferencial (Bargués-Tobella *et al.*, 2014). En consecuencia, los árboles no deben verse únicamente como consumidores de agua, sino también como ingenieros clave del ecosistema que permiten la recarga del agua del suelo y del agua subterránea. En Saponé, la recarga de agua subterránea se maximiza con una cubierta de dosel intermedia (Ilstedt *et al.*, 2016). Cuando la cubierta arbórea se encuentra por debajo del nivel óptimo, hay más árboles que producen una mayor recarga de agua subterránea debido a que la mejora en las

propiedades hidráulicas del suelo que le confieren estos árboles supera las pérdidas adicionales por evapotranspiración. Sin embargo, lo contrario ocurre cuando los porcentajes de cobertura arbórea son superiores al nivel óptimo (Figura 3).

Aunque se necesita realizar más investigación, desde una perspectiva de gestión, es vital promover prácticas que maximicen los impactos positivos de los árboles sobre las propiedades hidráulicas del suelo y minimicen el uso y la interceptación de agua por parte de los árboles. Por lo tanto, la selección de especies arbóreas, la poda de árboles y el control del ganado ofrecen oportunidades para aumentar la recarga de agua subterránea (Ilstedt *et al.*, 2016).

### El Cerrado: consecuencias hidrológicas del incremento de la biomasa vegetal

El Cerrado es el segundo bioma más grande de Brasil, ocupa 204 millones de hectáreas (24 % de la superficie total del país) y está sujeto a considerables presiones vinculadas al uso de la tierra (Sano *et al.*, 2019). Los tipos de vegetación varían a lo largo de un gradiente climático regional que depende del suelo local y las características geográficas, e incluye bosques secos, bosques de matorrales, matorrales abiertos (el Cerrado, en sentido estricto) y pastizales. La precipitación anual está en el espectro de 1 200 a 1 800 mm, presenta una marcada estacionalidad (con una estación



4

#### Comparación entre las plantaciones y la vegetación natural del Cerrado, Valle de Jequitinhonha, Brasil

Nota: Aporte de agua (mm/año); evapotranspiración (% de precipitación bruta - Pb); intercepción (% de Pb). C = Cerrado, E = Eucalipto, P = pino.

seca de seis meses) y la IA es ligeramente inferior a 1. Los suelos predominantes son profundos, altamente meteorizados y ácidos, y tienen bajas concentraciones de nutrientes. Debido a que la deficiencia de nutrientes puede corregirse, y otras características del suelo son altamente favorables, algunas tierras del Cerrado se convirtieron a la agricultura; la producción es alta cuando se usan fertilizantes. Es por ello que el Cerrado se ha convertido en uno de los puntos críticos de biodiversidad más amenazados del mundo (Klink y Machado, 2005).

El Cerrado concentra las cabeceras de los ríos que drenan hacia el norte, nordeste, sureste y sur del país. La vegetación natural

#### El Cerrado, Brasil



del bioma tiene una baja densidad de biomasa y escasa capacidad de intercepción. Esto, sumado a los suelos bien drenados, significa que hay un exceso hídrico responsable de recargar los acuíferos y mantener el flujo de los cursos de agua (Honda y Durigan, 2017). Sin embargo, la degradación debida a los cambios en el uso de la tierra (principalmente por la agricultura) está alterando esta dinámica, lo que lleva a la contaminación de los cursos de agua y reduce la disponibilidad de agua.

En la región se ha dado un aumento de la superficie de plantaciones forestales de rotación corta, y el *Eucalyptus grandis* es la especie más importante. La biomasa de estos bosques aumenta rápidamente, los árboles exploran los recursos hídricos por

medio de sus sistemas de raíces profundas y presentan una alta evapotranspiración, lo que potencialmente altera el balance hídrico del suelo. Lima (1990) comparó el balance hídrico del suelo de la vegetación del Cerrado con plantaciones de *Pinus* y *Eucalyptus* en el nordeste de Minas Gerais (Valle de Jequitinhonha, precipitación anual = 1 121 mm), y demostró que la conversión de la vegetación natural del Cerrado (36 m<sup>3</sup> por hectárea) a *Pinus caribaea* (210 m<sup>3</sup> por hectárea) y *Eucalyptus grandis* (366 m<sup>3</sup> por hectárea) aumentó las pérdidas por intercepción en 74 mm por año en el caso del *Pinus* y 134 mm por año en el caso del *Eucalyptus* (Figura 4). El balance hídrico del suelo disminuyó de 556 mm por año en la vegetación natural del Cerrado a 450 mm con *Pinus* y 326 mm con *Eucalyptus*. La reducción en la disponibilidad de agua provocada por las plantaciones aumenta los efectos de la estacionalidad natural (es decir, una menor disponibilidad durante las estaciones secas) y reduce el flujo de los cursos de agua. En este caso, el manejo forestal debería ajustarse a la disponibilidad de agua, para lo cual, por ejemplo, se puede reducir la superficie de las plantaciones, aumentar la longitud de rotación (porque el uso del agua disminuye con la edad del árbol; Perry y Jones, 2017), mezclar las edades de los rodales (para crear un mosaico) y reducir la intensidad del manejo.

Otro aspecto en discusión sobre el



CERRADO (CAVERNA AROE JARI) POR STINKENROBBER BAJO LICENCIA CC BY-NC 2.0

**Sector del Cerrado rodeado de campos agrícolas en la ruta de acceso a la Caverna Aroe Jari, Mato Grosso, Brasil**

bioma Cerrado, principalmente en las zonas protegidas y los fragmentos restantes, es la reducción de la presencia del fuego, considerado un elemento natural de la ecología del Cerrado (Durigan y Ratter, 2016), provocada por una política de extinción de incendios (Durigan and Ratter, 2016). La reducción de los incendios conduce a un aumento en la biomasa de la vegetación, lo que a su vez redundará en un incremento de la interceptación y una modificación en la dinámica de la evapotranspiración (Passos *et al.*, 2018), lo que genera cambios en el régimen hidrológico y en las comunidades de plantas. Oliveira *et al.* (2017) controlaron pozos piezométricos en diversos tipos de vegetación del Cerrado durante un período de dos años y demostraron que el aumento en la densidad de la vegetación redujo la recarga de agua de 363 mm por año (pastizales) a 315 mm por año (el Cerrado). También se observaron diferencias en los índices de evapotranspiración y de contenido de agua en el suelo

entre los tipos de vegetación (Miranda *et al.*, 2003).

El cambio en el uso de la tierra en el Cerrado, y en otras tierras secas de todo el mundo, requiere tener en cuenta las limitaciones hidrológicas (evidenciadas por las características de la vegetación natural) para mantener los procesos hidrológicos y la prestación de servicios ecosistémicos.

#### **DESAFÍOS EN LA GOBERNANZA Y GESTIÓN DE LOS SISTEMAS AGROSILVOPASTORALES Y LOS BOSQUES DE TIERRAS SECAS**

El agua desempeña un papel fundamental en la resiliencia socioecológica (Falkenmark, Wang-Erlandsson y Rockström, 2019), especialmente en las tierras secas. Por lo tanto, las políticas de gobernanza y gestión orientadas al futuro en los sistemas agrosilvopastorales y bosques de tierras secas deberán considerar el agua como un elemento de apoyo crucial para la producción de bienes y servicios, ubicado, como mínimo, al mismo nivel que la biomasa y el carbono.

La gestión de la tierra orientada al agua puede contribuir a varios de los Objetivos

de Desarrollo Sostenible (ODS), entre los que se cuentan el ODS 2 («Hambre cero»), el ODS 6 («Agua limpia y saneamiento») y el ODS15 («Vida de ecosistemas terrestres»). Pero es un desafío sumamente complejo, con dimensiones económicas, sociales, ambientales y climáticas. La necesidad de múltiples bienes y servicios aumenta la complejidad del desafío porque su cantidad, tipología y valoración (en términos económicos) varían según el tipo de ecosistema (La Notte *et al.*, 2015) y obstaculizan el potencial de un enfoque generalizado aplicable a todos los sistemas agrosilvopastorales y bosques de tierras secas. Adicionalmente, muchos de los productos que se generan en los sistemas agrosilvopastorales y en los bosques de tierras secas no son claramente comercializables, lo que desalienta una potencial inversión en su manejo. Los sistemas de apoyo a la toma de decisiones capaces de manejar la complejidad y las múltiples interacciones, los que podrían incluir una valoración económica (Teclé, Shrestha y Duckstein, 1998), presentan un medio potencial para sortear la complejidad del manejo de la tierra orientado al agua en las zonas áridas.



## Referencias

### CONCLUSIÓN

El manejo orientado al agua en los sistemas agrosilvopastorales y en los bosques de tierras secas puede aumentar la disponibilidad de agua y, por ende, la resiliencia socioecológica. Tal como demuestran los estudios de caso presentados anteriormente, las estrategias como el aclareo de copas, la poda y la selección de especies, pueden ser eficaces para combatir la escasez de agua (al aumentar la recarga del suelo y de las aguas subterráneas), al tiempo que aumentan la resiliencia y adaptación al cambio climático. Es probable que las intensidades y estrategias de manejo óptimas varíen con las características del ecosistema, incluso dentro de la misma cuenca o región.

La necesidad de proporcionar múltiples bienes y servicios ecosistémicos aumenta el desafío de gestión, pero también los beneficios potenciales y, por ende, las posibilidades de manejo. La complejidad de los enfoques de gestión con objetivos múltiples, y la variabilidad ecológica de los sistemas agrosilvopastorales y los bosques de tierras secas determinan que se necesita un mayor esfuerzo para cuantificar y valorar los bienes y servicios ecosistémicos de los sistemas agrosilvopastorales y bosques de tierras secas e incorporar esta información a la gestión.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CEHYRFO-MED (CGL2017-86839-C3-2-R), LIFE17 CCA/ES/000063 RESILIENTFORESTS, al Consejo Sueco de Investigación (Formas) (2017-00430) y al Consejo Sueco de Investigación (subvención VR 2017-05566). ◆

- Bargués-Tobella, A., Reese, H., Almaw, A., Bayala, J., Malmer, A., Laudon, H. e Ilstedt, U.** 2014. The effect of trees on preferential flow and soil infiltrability in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso. *Water Resources Research*, 50(4): 3342–3354.
- Boffa, J.M.** 1999. *Agroforestry parklands in sub-Saharan Africa*. FAO Conservation Guide 34. Roma, FAO.
- Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S. y von Maltitz, G., eds.** 2018. *World atlas of desertification*. Luxemburgo, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- del Campo, A.D., González-Sanchis, M., Lidón, A., García Prats, A., Lull, C., Bautista, I., Ruiz, G. y Francés, F.** 2017. Ecohydrological-based forest management in semi-arid climate. En: J. Křeček, M. Haigh, T. Hofer, E. Kubin y C. Promper, eds. *Ecosystem services of headwater catchments*, Capítulo 6. Springer International Publishing y Capital Publishing Co.
- Durigan, G. y Ratter, J.A.** 2016. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. *Journal of Applied Ecology*, 53(1): 11–15.
- Falkenmark, M., Wang-Erlandsson, L. y Rockström, J.** 2019. Understanding of water resilience in the Anthropocene. *Journal of Hydrology X*, 2: 100009.
- FAO.** 2016. *Trees, forests and land use in drylands. The first global assessment. Preliminary findings*. Roma. 32 p.
- Grey, D. y Sadoff, C.W.** 2007. Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9: 545–571.
- Honda, E.A. y Durigan, G.** 2017. A restauração de ecossistemas e a produção de água. *Hoehnea*, 44(3): 315–27.
- Ilstedt, U., Bargués-Tobella, A., Bazié, H.R., Bayala, J., Verbeeten, E., Nyberg, G., et al.** 2016. Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports*, 6: 21930.
- Jackson, R.B., Jobbágy, E.G., Avissar, R., Roy, S.B., Barrett, D.J., Cook, C.W., Farley, K.A., le Maitre, D.C., McCarl, B.A. y Murray, B.C.** 2005. Trading water for carbon with biological carbon sequestration. *Science*, 310(5756): 1944–1947.
- Johnstone, J.F., Allen, C.D., Franklin, J.F., Frelich, L.E., Harvey, B.J., Higuera, P.E., et al.** 2016. Changing disturbance regimes, ecological memory, and forest resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(7): 369–378.
- Klink, C.A. y Machado, R.B.** 2005. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, 19(3): 707–713.
- Lal, R.** 2004. Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environmental Management*, 33(4): 528–544.
- La Notte, A., Liqueste, C., Grizzetti, B., Maes, J., Egoh, B. y Paracchini, M.** 2015. An ecological-economic approach to the valuation of ecosystem services to support biodiversity policy: a case study for nitrogen retention by Mediterranean rivers and lakes. *Ecological Indicators*, 48: 292–302.
- Lima, W.P., Zakia, M.J.B., Libardi, P.L. y Souza Filho, A.P.** 1990. Comparative evapotranspiration of *Eucalyptus*, pine and natural “cerrado” vegetation measure by the soil water balance method. *IPEF International*, 1: 35–44.
- Miranda, A.C., Lloyd, J., Santos, A.J.B., Silva, G.T.D.A. y Miranda, H.S.** 2003. Effects of fire on surface carbon, energy and water vapour fluxes over campo sujo savanna in central Brazil. *Functional Ecology*, 17(6): 711–719.
- Oliveira, P.T.S., Boccia Leite, M., Mattos, T., Nearing, M.A., Scott, R.L., de Oliveira Xavier, R., da Silva Matos, D.M. y Wendland, E.** 2017. Groundwater recharge decrease with increased vegetation density in the Brazilian Cerrado. *Ecohydrology*, 10(1). <https://doi.org/10.1002/eco.1759>
- Passos, F.B., Schwantes Marimon, B., Phillips, O.L., Morandi, P.S., Carvalho das Neves, E., Elias, F., Reis, S.M., de Oliveira, B., Feldpausch, T.R. y Marimon Júnior, B.H.** 2018. Savanna turning into forest: concerted vegetation change at the ecotone between the Amazon and ‘Cerrado’

- Biomes. *Revista Brasileira de Botânica*, 41(3). <https://doi.org/10.1007/s40415-018-0470-z>
- Perry, T.D., y Jones, J.A.** 2017. Summer streamflow deficits from regenerating Douglas-fir forest in the Pacific Northwest, USA. *Ecohydrology*, 10(2): e1790.
- PNUMA-WCMC.** 2007. A spatial analysis approach to the global delineation of dryland areas of relevance to the CBD Programme of Work on Dry and Subhumid Lands. Dataset based on spatial analysis between WWF terrestrial ecoregions and aridity zones. Dataset checked and refined to remove many gaps, overlaps and slivers (julio de 2014).
- Sano, E.E., Rosa, R., de Mattos Scaramuzza, C.A., Adami, M., Bolfe, E.L., Camargo Coutinho, A., et al.** 2019. Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54(0).
- Secretaría del CDB.** 2010 Decisión adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica [CDB] en su décima reunión: X / 35. Biodiversidad de tierras secas y subhúmedas. Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica, décima reunión. Nagoya, Japón, 18–29 de octubre.
- Teclé, A., Shrestha, B.P. y Duckstein, L.** 1998. A multiobjective decision support system for multiresource forest management. *Group Decision and Negotiation*, 7(1): 23–40.
- White, R.P. y Nackoney, J.** 2003. *Drylands, people, and ecosystem goods and services: a web-based geospatial analysis*. Washington, DC, Instituto de Recursos Mundiales.
- Zhang, L., Dawes, W. y Walker, G.** 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*, 37(3): 701–708. ◆

# Deficiencias en materia de ciencia, políticas y prácticas en el nexo bosque-agua

*M. Gustafsson, I. Creed, J. Dalton, T. Gartner, N. Matthews, J. Reed, L. Samuelson, E. Springgay y A. Tengberg*

*Es imperioso lograr un mayor conocimiento sobre la forma de implementar regímenes de gestión eficaces para el nexo bosque-agua.*

**Malin Gustafsson** es oficial de programa del Instituto Hídrico Internacional de Estocolmo (SIWI), Estocolmo, Suecia.

**Irena Creed** es profesora de la Escuela de Medio Ambiente y Sustentabilidad de la Universidad de Saskatchewan, Saskatoon, Canadá.

**James Dalton** es director del Programa Mundial del Agua, de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), Gland, Suiza.

**Todd Gartner** es director de Cities4Forests y de la Iniciativa de Infraestructura Natural del Instituto de Recursos Mundiales, Washington, DC, Estados Unidos de América.

**Nathaniel Matthews** es director de programas de la Asociación Mundial para la Resiliencia, con sede en el Centro de Resiliencia de Estocolmo (SRC), Universidad de Estocolmo, Suecia.

**James Reed** es miembro del equipo de investigación de Paisajes Sostenibles y Sistemas Alimentarios del Centro de Investigación Forestal Internacional de Bogor, Indonesia, y del Instituto de Investigaciones sobre Conservación de la Universidad de Cambridge, Cambridge, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte.

**Lotta Samuelson** es gerenta de programa del Instituto Hídrico Internacional de Estocolmo (SIWI), Suecia.

**Elaine Springgay** es oficial forestal en el Departamento Forestal de la FAO en Roma, Italia.

**Anna Tengberg** es gerenta de programa en el Instituto Hídrico Internacional de Estocolmo (SIWI), Suecia, y profesora adjunta en el Centro de Estudios de Sostenibilidad de la Universidad de Lund, Suecia.



*El papel crucial de los árboles y los bosques en los ciclos hidrológicos requiere más investigación*

Los árboles y los bosques desempeñan un papel importante en los ciclos hidrológicos, ya que, por ejemplo, alteran la liberación de agua a la atmósfera, influyen en la humedad del suelo, mejoran la infiltración del mismo y la recarga de agua subterránea (Springgay *et al.*, 2018). Los cambios en el uso de la tierra vinculados a los bosques, como la deforestación, la reforestación y la forestación pueden afectar los puntos de abastecimiento de agua cercanos y distantes (Jones *et al.*, 2019): por ejemplo, una disminución de la evapotranspiración después de la deforestación de un área puede reducir las precipitaciones en las zonas ubicadas en la dirección del viento (Ellison *et al.*, 2017). El cambio climático y un aumento de los fenómenos climáticos extremos están alterando los ciclos del agua y amenazan la estabilidad de los flujos de dicho recurso (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2019). Al mismo tiempo, los suministros de agua se ven afectados por un aumento en el consumo humano para satisfacer las necesidades domésticas, agrícolas e industriales (Rockström *et al.*, 2009). La creciente demanda de agua reduce los flujos de agua dulce y los niveles de agua subterránea, a menudo con efectos negativos sobre la biodiversidad, los ecosistemas y los servicios de los ecosistemas (Power, 2010).

Por ende, el agua, los bosques y el clima están intrínsecamente interrelacionados en múltiples niveles en lo que se ha denominado el nexo bosque-agua, pero los sistemas subyacentes y los ciclos de retroalimentación de los procesos hidrológicos forestales son poco conocidos y están mal representados a nivel de políticas y toma de decisiones. (Creed y van Noordwijk, 2018). En el ámbito nacional, los desafíos normativos constantes a menudo se ven desvirtuados por la falta de colaboración entre los sectores clave, como el forestal, el hidrológico, el energético y el agrícola.

En consecuencia, se tiende a pasar por alto las complejas cuestiones multisectoriales,

como las relaciones bosque-agua, y a incorporarlas inadecuadamente en las políticas sectoriales.

En este artículo nos basamos en nuestra experiencia colectiva, así como en la bibliografía reciente para resaltar las deficiencias de conocimientos sobre la integración del nexo bosque-agua en la ciencia, las políticas y la práctica, incluido el discurso sobre el cambio climático y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

#### **MAYOR HINCAPIÉ EN LAS INTERRELACIONES**

En la actualidad se reconoce ampliamente la necesidad de lograr una mayor integración entre los sectores y escalas en la gobernanza de los recursos naturales (por ejemplo, Liu *et al.*, 2018). Un ejemplo de ello sería la incorporación de enfoques ascendentes, impulsados por las partes interesadas, en las estrategias de gestión de los recursos naturales (Creed y van Noordwijk, 2018; Tengberg y Valencia, 2018). Actualmente se debaten los enfoques de paisaje y, en algunos casos, las regiones tropicales y templadas los han adoptado en un intento por conciliar desafíos ambientales y de desarrollo a menudo antagónicos a escalas espaciales más amplias (Estrada-Carmona *et al.*, 2014; García-Martín *et al.*, 2016; Reed *et al.*, 2016).

Los bosques y el agua, que son componentes integrales del paisaje, también están recibiendo una mayor atención en materia de políticas y prácticas. La Directiva Marco sobre el Agua de la Unión Europea, adoptada en el año 2000, ha sido una fuerte impulsora de las asociaciones públicas y privadas de enfoque ascendente para garantizar los flujos y la calidad del agua. En el ámbito mundial, la Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (comúnmente conocida como Convención de Ramsar) ha creado conciencia sobre la necesidad de conservar y utilizar de manera sostenible los humedales, los bosques y los recursos hídricos (Tengberg *et al.*, 2018). Los ODS abordan

el tema del agua en el ODS 6 («Agua limpia y saneamiento»), y el de los bosques en el ODS 15 («Vida de ecosistemas terrestres»), aunque se ha argumentado que todos los ODS son pertinentes en lo que hace a la gestión y el uso de los bosques y el agua (Creed y van Noordwijk, 2018). Otras convenciones y campañas internacionales recientes también ponen mayor énfasis en los bosques, como, por ejemplo, el Desafío de Bonn, que tiene como objetivo restaurar 350 millones de hectáreas para 2030, la Declaración de Nueva York sobre los Bosques, cuyo objetivo es terminar con la deforestación para 2030, y la asociación Trillion Trees, que tiene como meta proteger y restaurar un billón de árboles para 2050. Aunque el impulso y las promesas para llevar adelante estas iniciativas han sido considerables, el desafío sigue siendo ponerlas en práctica, y aún no está claro si se puede lograr una sinergia entre los sectores, incluidos aquellos que se encuentran entre los bosques y el agua (Seddon *et al.*, 2019).

La productividad de los paisajes multifuncionales está supeditada a la gestión de los recursos y procesos interrelacionados de los bosques y el agua (Ilstedt *et al.*, 2007), lo que, a su vez, requiere un conocimiento adecuado de dichas interrelaciones. Pero las persistentes deficiencias de conocimientos de las interacciones bosque-agua requieren atención y acción si se pretende aplicar enfoques basados en el sistema, como la restauración de bosques y paisajes (Laestadius, 2015; Carmenta y Vira, 2018), y enfoques de paisajes que consideren de manera holística la importancia de tener bosques saludables para el suministro sostenible de agua, y viceversa.

La gestión del nexo bosque-agua es esencial para lograr muchos de los ODS y podría reconocerse mejor en la implementación de las contribuciones (previstas) determinadas a nivel nacional en virtud del Acuerdo de París sobre el cambio climático. Los ODS brindan un marco útil para que las autoridades encargadas de la toma de decisiones y la formulación de políticas centren su atención en este nexo.



CURVA DE LA HERRADURA TROPICAL. DE THE OLIVERA. REGISTRADA BAJO LICENCIA CC BY-NC-SA 2.0

Sugerimos que, a fin de implementar de manera eficaz los enfoques de paisajes a gran escala, debería prestarse debida atención a la multifuncionalidad de los paisajes, lo que debería incluir las interacciones y la interdependencia de las acciones en sectores que suelen ser antagónicos, y su importancia para los medios de vida, el clima y la resiliencia económica.

#### **INTERRELACIONES ENTRE LOS BOSQUES Y EL AGUA: ÁREAS DE CONSENSO Y DISENSO, Y DEFICIENCIAS DE CONOCIMIENTO**

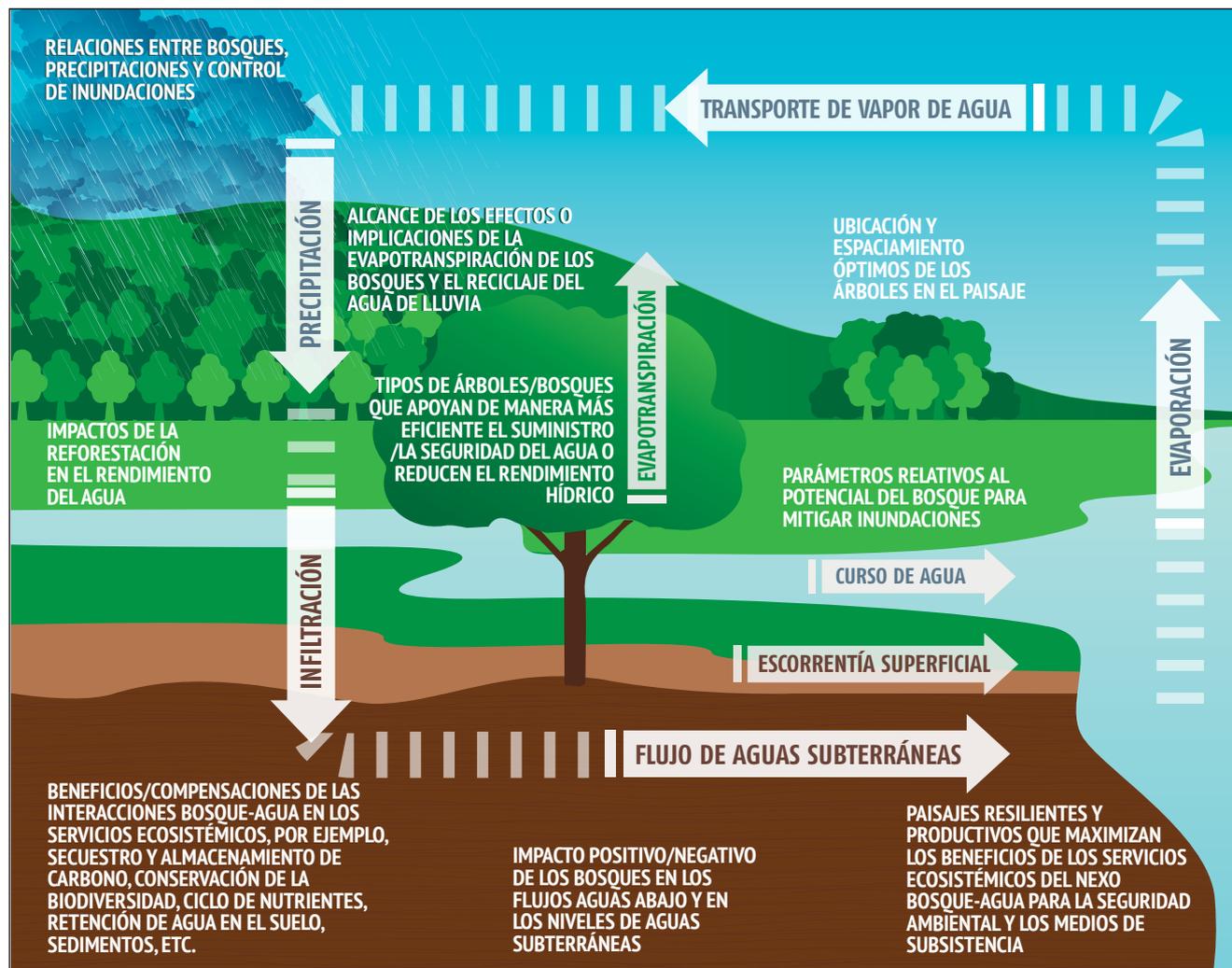
Los bosques y el agua están vinculados a través de sus múltiples funciones, como

la regulación de los flujos de las cuencas hidrográficas, la reducción de inundaciones y sequías, y los impactos de los bosques en el rendimiento y la calidad del agua. Sin embargo, existe un conocimiento limitado de los factores que regulan estas funciones múltiples, sus interacciones y, en última instancia, sus efectos sobre quienes dependen de ellas para obtener agua y otros servicios del ecosistema. La complejidad de las relaciones bosque-agua altamente contextualizadas requiere decisiones de gestión basadas en la ciencia y la comprensión de las condiciones a diversas escalas: local, nacional y global (Eriksson *et al.*, 2018). En la Figura 1

y el Cuadro 1 se identifican temas donde hay consenso y disenso entre los expertos, lo cual sugiere la necesidad de una mayor investigación y debate. Por ejemplo, existe consenso acerca del hecho de que los procesos hidrológicos que reciben la influencia de los bosques pueden repercutir sobre el ciclo del agua, pero no hay consenso sobre los impactos de tales interacciones.

La investigación en curso abarca una amplia gama de temas que incluye aspectos técnicos relacionados con (por ejemplo) los balances hídricos, las evaluaciones y el diseño de políticas de apoyo, el diálogo y la comunicación (Cuadro 2).

1  
Áreas que requieren un análisis adicional sobre el nexo bosque-agua



Nota: Esta reseña conceptual de los temas relativos al nexo bosque-agua que necesitan analizarse con mayor profundidad surgió de las deliberaciones del primer taller *Forest-Water Champions* realizado en Estocolmo, en agosto de 2017.

Sin embargo, aún quedan desafíos por delante para superar los enfoques sectoriales o aislados y hacer posible la implementación del manejo integrado de los bosques y el agua. A menudo existe escasa comunicación y falta de confianza entre las partes interesadas, así como una carencia de incentivos económicos para el manejo sostenible del nexo bosque-agua. Por lo tanto, instamos a procurar nuevas formas de comunicar los resultados de la investigación científica utilizando una terminología común

y enfoques de comunicación modernos, como las reuniones de múltiples partes interesadas realizadas de forma virtual y el intercambio de información a través de las redes sociales y foros públicos. A fin de comprender y explicar la hidrología de los bosques como parte de la gestión del agua, sería útil contar con mapas donde se explique el rendimiento del agua por tipo de ecosistema, cubierta forestal y otros parámetros, junto con herramientas de apoyo para la toma de decisiones que vinculen la ciencia, la política y la práctica.

### BOSQUE, AGUA, CLIMA Y UNA PERSPECTIVA DE PAISAJE

El cambio climático tiene muchos impactos fundamentales y crecientes en el ciclo global del agua y en los patrones climáticos regionales (Hegerl *et al.*, 2015). No obstante, el tema del agua rara vez está presente en las negociaciones internas de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Se han perdido oportunidades en lo que hace a la gestión del nexo bosque-agua para la adaptación y mitigación del

**CUADRO 1.****Áreas donde hay consenso y áreas que necesitan un análisis adicional identificadas en la primera reunión de *Forest-Water Champions* en Estocolmo (agosto de 2017)**

Tema	Áreas de consenso	Áreas que requieren un análisis adicional
Cantidad de agua	Los árboles y los bosques influyen en el ciclo hidrológico regulando y afectando los flujos de las cuencas al interceptar, absorber, generar evapotranspiración, reducir la escorrentía y mejorar la infiltración del suelo y la recarga del agua subterránea.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los impactos positivos y negativos de los bosques en el flujo hidrológico aguas abajo y en los niveles de agua subterránea</li> </ul>
	El efecto (positivo o negativo) de los bosques en el rendimiento del agua depende de la ubicación, el tipo y la edad del bosque, y la escala (física y temporal).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos de árboles/bosques que contribuyen de manera más eficiente al suministro/seguridad del agua</li> <li>• Tipos de árboles/bosques que afectan seriamente el rendimiento hídrico</li> <li>• Ubicación óptima de los árboles en los paisajes.</li> </ul>
	El fuego es un aspecto normal y saludable de muchos bosques, que se correlaciona con los regímenes pluviales e influye en la hidrología.	
	Los bosques pueden reducir el riesgo de inundaciones, pero los parámetros de reducción de dicho riesgo son complejos, se ven afectados por muchos factores y aún son poco conocidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parámetros relacionados con el potencial de los bosques para mitigar las inundaciones.</li> </ul>
	La evapotranspiración de los bosques puede tener un efecto positivo sobre las precipitaciones que ocurren en la dirección del viento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El alcance del efecto de los bosques y sus implicaciones, la evapotranspiración y el reciclaje del agua de lluvia.</li> </ul>
	Es necesario definir los parámetros de las relaciones bosque-agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relaciones entre bosques, precipitaciones y control de inundaciones</li> <li>• Impactos de la reforestación en el rendimiento hídrico</li> <li>• Beneficios e impactos de los bosques a diferentes escalas.</li> </ul>
Calidad del agua	Los bosques generalmente mejoran la calidad del agua a través de sus sistemas de raíces y perfiles de suelo estables, que pueden actuar como filtros naturales al reducir la erosión y sedimentación del suelo.	
	Los bosques son cruciales para los ecosistemas acuáticos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los impactos de las zonas ribereñas y las llanuras inundables en las comunidades de peces.</li> </ul>
Políticas y prácticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oportunidades que brindan los ODS:</li> <li>• Hacen que las autoridades responsables de la toma de decisiones y de la formulación de políticas y centren su atención en el conocimiento científico asociado</li> <li>• Resaltan áreas donde la ciencia no es lo suficientemente amplia o es excesivamente simplista</li> <li>• Destacan la necesidad de tener enfoques integrados en todos los sectores y disciplinas.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los bosques están adaptados a las condiciones ambientales, incluida el agua</li> <li>• Las relaciones bosque-agua dependen de la escala y el contexto</li> <li>• Los impactos de las actividades de manejo de los bosques y tierras sobre el agua y los usuarios de dicho recurso dependen de las condiciones locales, la ecología forestal, el régimen de gestión, la escala, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beneficios y compensaciones vinculados a los bosques y las interacciones con el agua, como el almacenamiento de carbono, la mitigación y adaptación al cambio climático, y los eventos extremos</li> <li>• Desarrollo y comunicación de investigaciones, métodos y herramientas para la toma de decisiones.</li> </ul>
	<p>Para mejorar el manejo de la interfaz bosque-agua se necesita:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• una combinación de medidas técnicas y políticas, resumidas en una teoría del cambio</li> <li>• un marco conceptual científico con los principales vínculos e interacciones entre los bosques y el agua</li> <li>• la integración en herramientas existentes para gestionar la incertidumbre/el riesgo en el manejo sostenible de los bosques y tierras, y la gestión integrada de los recursos hídricos</li> <li>• comunicación entre disciplinas y sectores para lograr consenso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma de lograrlo e identificar quiénes lo llevarán a cabo.</li> </ul>
Socioeconomía	Los recursos forestales e hídricos son parte de sistemas socioecológicos profundamente entrelazados. Por lo tanto, las dimensiones socioeconómicas y las repercusiones para las políticas de gobernanza deben abordarse mejor, con atención específica al cambio climático, a las funciones forestales reducidas y a una mayor demanda de agua para el bienestar humano.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma de abordar y gestionar mejor un mosaico de usos de la tierra y otras intervenciones, incluidos los ecosistemas naturales y los sistemas gestionados, a fin de maximizar los beneficios generales, habida cuenta de la distribución equitativa de los beneficios.</li> </ul>
	Los servicios de los ecosistemas del nexo bosque-agua deben estar mejor documentados y acreditados y emplearse mejor para formular esquemas de financiación que permitan el desarrollo del paisaje en su totalidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir si la contabilidad de los recursos hídricos debe volver a priorizar los ecosistemas y analizar el «saldo neto» del agua. Esto puede contribuir a un análisis de costo-beneficio de los bosques como capital natural que reemplace o complemente la infraestructura gris.</li> </ul>

*Nota:* La primera reunión de *Forest-Water Champions* fue organizada por la FAO, UICN y SIWI.

*Fuente:* Adaptado de Springgay et al. (2018).

## CUADRO 2.

### Resumen de los debates grupales de una sesión paralela durante la Conferencia de Bosques y Agua de IUFRO realizada en Chile (noviembre de 2018)

<b>Investigación pertinente en curso</b>	Evaluaciones de vulnerabilidad relativas a la ordenación de cuencas hidrográficas forestales que integran ciencia, políticas y participación de partes interesadas.
	Investigación sobre pagos por servicios ecosistémicos y formas de diseñar políticas de apoyo utilizando el análisis de las redes sociales.
	Apoyo a la comunicación, la compilación de indicadores y las iniciativas de partes interesadas.
	Balances hídricos en silvicultura y agricultura para aumentar la eficiencia del riego.
	Gestión de suelos mediante el uso de bosques nativos y subsidios para algunas actividades.
	Desarrollo de estrategias para trabajar con las comunidades locales y facilitar las deliberaciones entre empresas y comunidades.
<b>Retos pendientes</b>	Existe un enfoque aislado del agua: las personas deben poder reunirse, pero esto requiere recursos, compromiso y liderazgo, además de una plataforma.
	Es clave generar confianza entre las diferentes partes interesadas. Existe, por ejemplo, falta de transparencia en las empresas y renuencia a compartir datos e información. Los propietarios de tierras no confían en los científicos, ya que creen que están del «lado del gobierno». Las organizaciones no gubernamentales tienen un papel importante que desempeñar a la hora de generar confianza entre profesionales, autoridades normativas y científicos.
	Los científicos, las autoridades normativas y los profesionales hablan diferentes «idiomas». Los científicos y los investigadores siempre suenan inseguros. ¿Por qué continúan diciendo: «sabemos esto pero no sabemos aquello»?
	Es importante que haya un objetivo común, algo que debe quedar claro desde el principio, pero a menudo no es así. ¿Qué estamos tratando de lograr y qué problemas estamos tratando de resolver?
	Faltan incentivos económicos para la gestión sostenible del nexo bosque-agua.
<b>Necesidades de comunicación</b>	Se deben crear nuevas formas de comunicar los resultados. Para comprender mejor el nexo bosque-agua, podrían usarse, por ejemplo, historietas con más imágenes y menos texto. Podrían organizarse seminarios virtuales para generar conciencia.
	Existe la necesidad de emplear una terminología común, algo que podría incluirse en el objetivo común.
	Es importante comunicar los beneficios de abordar el nexo bosque-agua. ¿Por qué es necesario y qué obtendremos a cambio?
	Científicos, profesionales y autoridades normativas podrían desarrollar conjuntamente herramientas para apoyar a la toma de decisiones.

*Nota:* La sesión paralela que tuvo lugar durante la Conferencia de Bosques y Agua de la Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO) fue coorganizada por la FAO, SIWI y la Agencia Forestal Sueca.

cambio climático, como, por ejemplo, para incluir soluciones basadas en la naturaleza (Tengberg *et al.*, 2018). En el ámbito nacional, los países en desarrollo han tomado la iniciativa de incorporar dichas soluciones en sus contribuciones determinadas a nivel nacional al Acuerdo de París sobre cambio climático (Seddon, 2018); asimismo, también aumenta la gestión de los ecosistemas con el fin de lograr la seguridad del agua. Aun así, las lecciones derivadas de los enfoques basados en la naturaleza, como los proyectos de adaptación basada en el ecosistema, no han sido concluyentes hasta la fecha debido a las dificultades de seguimiento y a la falta de intervenciones a una escala significativa más allá de los proyectos comunitarios (Reid *et al.*, 2019).

La comprensión y la consideración de los procesos hídricos e hidrológicos pueden utilizarse como un punto de partida clave para promover la restauración del paisaje y la gestión sostenible del nexo bosque-agua. Para garantizar paisajes multifuncionales resistentes y productivos, son necesarias las siguientes acciones:

- Mejorar la comprensión de los procesos hidrológicos a escala del paisaje
- Apoyar el desarrollo de nuevos conocimientos integrados que puedan apuntalar la toma de decisiones basada en la evidencia y relacionada con los paisajes, los bosques y el agua
- Fortalecer los acuerdos de gobernanza a múltiples niveles que

permitan una verdadera participación de las partes interesadas

- Identificar y aplicar las mejores prácticas de manejo y herramientas innovadoras para la gestión sostenible de los bosques y el agua en los paisajes
- Garantizar un financiamiento adecuado a largo plazo para los enfoques paisajísticos que sustentan los servicios ecosistémicos y apoyan los medios de subsistencia (Tengberg *et al.*, 2018).

Para lograr un diálogo exitoso e inclusivo con múltiples partes interesadas, inevitablemente se requerirá una reconsideración de las estructuras de gobernanza y de las interacciones institucionales existentes, así como un movimiento hacia estructuras



**Bosque protegido en Serra do Mar, que ayuda a garantizar un suministro sostenible de agua a San Pablo**

© ANNA TENBERG/SIWI

de niveles múltiples<sup>1</sup> o policéntricas<sup>2</sup> más transversales (por ejemplo, Ostrom, 2010; Nagendra y Ostrom, 2012). Aunque en años recientes se ha defendido y apoyado el empleo de tales estructuras, es necesario prestar suficiente atención (y aplicar los marcos pertinentes) al desempeño, la equidad y la dinámica de poder (Kusters *et al.*, 2018; Morrison *et al.*, 2019). La creación o mejora de los foros existentes de múltiples partes interesadas puede servir para comunicar mejor los beneficios mutuos de la gestión sostenible del nexo bosque-agua para el clima, los paisajes y las personas, con miras a sensibilizar a las autoridades normativas, la sociedad civil y el público en general acerca de estos beneficios, e

<sup>1</sup> En otras palabras, conciliar los órganos rectores a través de escalas de influencia horizontal o vertical, del ámbito local a nacional.

<sup>2</sup> En otras palabras, conciliar los órganos rectores a través de escalas espaciales, con múltiples centros de toma de decisiones en un paisaje.

inspirar la coproducción de soluciones y conocimientos integrados sobre los bosques y el agua.

#### **IMPLICACIONES PARA LA CIENCIA, LAS POLÍTICAS Y LAS PRÁCTICAS**

El mundo continúa perdiendo bosques primarios: 2017 fue descrito como el segundo peor año registrado en cuanto a pérdida de árboles tropicales (Curtis *et al.*, 2018), y las tendencias y los pronósticos actuales en la Amazonia brasileña son motivo de gran preocupación (INPE, sin fecha). La deforestación continua entra directamente en conflicto con las ambiciones y los compromisos de los ODS y otros objetivos globales, y hace que los esfuerzos para restaurar bosques y paisajes degradados a escala parezcan remotos. En muchos países se ha relacionado el estrés hídrico con la degradación de la tierra resultante de la conversión de los bosques (Curtis *et al.*, 2018; IPCC, 2019), y la creciente competencia por la tierra entre, por ejemplo, la agricultura, la industria y la

silvicultura intensiva aumenta el desafío. A continuación describimos las principales implicaciones y oportunidades para la ciencia, las políticas y las prácticas al abordar el nexo bosque-agua.

#### **Ciencia**

Hay consenso sobre muchos de los procesos físicos que cambian el ciclo hidrológico y reciben la influencia de los bosques. Por ejemplo, los bosques afectan la infiltración del agua y las propiedades hidráulicas del suelo (Neary, Ice y Jackson, 2009). Asimismo, la evapotranspiración de los bosques puede influir en las precipitaciones que caen en la dirección del viento (Ellison *et al.*, 2017). Los datos y conocimientos existentes pueden ayudar a priorizar las estrategias de gestión del paisaje y a identificar los servicios ecosistémicos relacionados con el agua, como el control de la erosión del suelo, la reducción de las inundaciones y la recarga de aguas subterráneas. Los mismos datos pueden ser útiles para identificar compensaciones

donde la creación de bosques puede resultar contraproducente para las necesidades de agua. Los procesos hidrológicos que tienen lugar en los bosques cambian con el tiempo (Filoso *et al.* 2017), y los árboles tienen ciclos de vida prolongados. Por lo tanto, la planificación a largo plazo es esencial para la restauración de los bosques y paisajes, y puede apuntalarse mediante el mapeo de los posibles impactos de las proyecciones del cambio climático en el agua.

Es importante invertir en estudios para identificar el rango de interacciones bosque-agua y determinar la forma en que ocurren los procesos y efectos en diferentes escalas espaciales y temporales que permitan extraer conclusiones generales sobre enfoques de gestión adecuados. Los esfuerzos para mejorar la comprensión de las relaciones bosque-agua altamente contextualizadas deben considerar parámetros locales como la geografía, la altitud, el tipo de bosque, el régimen de gestión, la escala y la estación (Creed y van Noordwijk, 2018). Por ejemplo, las inversiones actuales en restauración de paisajes requieren información adicional sobre los recursos hídricos, lo que incluye la disponibilidad actual de agua y las predicciones de cambios futuros en la disponibilidad debido al cambio climático, así como las necesidades de desarrollo humano y económico.

Una mayor comprensión de la disponibilidad y los flujos de agua actuales y futuros ayudaría a mejorar las contribuciones de las intervenciones de gestión forestal y restauración para los recursos hídricos (Eriksson *et al.*, 2018). Por ejemplo, la eficacia de la restauración en el almacenamiento del carbono depende en parte de la humedad adecuada del suelo. Los procesos de las políticas internacionales centrados en detener la deforestación, prevenir la degradación forestal y restaurar los bosques también son importantes para la seguridad del agua, además de depender de ella. Por ende, las intervenciones no solo deben ser sensibles al contexto, sino que deberían tener en cuenta la información técnica sobre las características

y adaptaciones de las especies arbóreas (Ilstedt *et al.*, 2016).

### Políticas

El suministro del agua forestal, la regulación y los servicios ecosistémicos culturales son cruciales para las sociedades (Reed *et al.*, 2017). Es necesario reconocer debidamente la importancia de estos servicios ecosistémicos y de gestionar sosteniblemente de relación entre los bosques y el agua, y tenerla más en cuenta en la silvicultura, en las estrategias de gestión de los bosques y el agua, y en las políticas, inversiones e iniciativas de restauración del clima y el paisaje. Resulta alentador que muchos programas internacionales recientes de sostenibilidad (por ejemplo, los de la CMNUCC, los ODS y el Convenio sobre la Diversidad Biológica) exijan explícitamente una mayor integración de sectores, y el entorno normativo en muchos países parece estar cambiando para adoptar el concepto de integración e instar a la participación de todos los ministerios (O'Connor *et al.*, de próxima publicación). Sin embargo, la formulación de políticas nacionales y subnacionales requiere un enfoque más específico en el nexo bosque-agua. Consideramos que hay suficiente información confiable sobre las interconexiones básicas bosque-agua para comenzar a alinear las políticas en torno a ellas. No obstante, se necesita tener conciencia de las deficiencias en materia de conocimiento y será importante contar con procesos de apoyo para mejorar el conocimiento y las políticas relacionadas.

Los nuevos marcos institucionales y de gobernanza pueden desempeñar papeles clave en la optimización del manejo de los bosques y el agua frente a las condiciones climáticas cambiantes, y resulta fundamental tener un enfoque intersectorial. La seguridad del agua, la energía y los alimentos deben ser componentes centrales de la gestión forestal y la restauración de paisajes multifuncionales destinados a lograr el ODS 15. La gestión del agua se beneficiaría de una mejor integración con la gestión forestal como una solución basada en la

naturaleza para ayudar a cumplir el ODS 6. Estos aspectos deberían incorporarse a las contribuciones determinadas a nivel nacional y a los planes de acción nacionales para implementar la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

### Prácticas

El progreso en el desarrollo sostenible depende en gran medida de la gestión del nexo bosque-agua, dada su importancia para el almacenamiento de carbono, los medios de subsistencia y la biodiversidad. Por lo tanto, es necesario gestionar los bosques para el agua, así como para la biodiversidad, el clima y el desarrollo económico. En muchos casos, esto requerirá una revisión fundamental de las prácticas de gestión forestal, así como una buena comunicación, sensibilización y desarrollo de capacidades. También es necesario formular nuevos marcos institucionales que fomenten la colaboración en el manejo de los bosques y el agua, como las instituciones que abordan el proceso que va «de la fuente al mar», con cadenas de gestión completas (Liss Lymer, Weinberg y Clausen, 2018). Las consideraciones de gobernanza, incluidas la justicia, la equidad, el género, así como los derechos y conocimientos indígenas, también son cruciales para la gestión del nexo bosque-agua. Proponemos el desarrollo de estudios de caso de múltiples beneficios ambientales y socioeconómicos para contribuir a desentrañar la complejidad del nexo bosque-agua y aclarar sus múltiples beneficios para la prestación de servicios ecosistémicos.

### CONCLUSIÓN Y PRÓXIMOS PASOS

Cada vez se presta más atención a los enfoques integrados entre ciencia, políticas y prácticas para comprender y gestionar de manera sostenible el nexo bosque-agua. Sin embargo, reconocemos que aún existen deficiencias importantes en su comprensión y aplicación. Hasta donde sabemos, no existe ningún método para controlar la forma en que se relacionan los cambios en los paisajes, lo que incluye la pérdida y ganancia de bosques, con los cambios

en el agua (y viceversa) a escala de cuencas hidrográficas y a mayor escala (por ejemplo, en la transferencia de humedad y formación de precipitaciones). La falta de datos reduce la capacidad de los gestores y de las autoridades normativas para tomar decisiones con conocimiento de causa y basadas en la evidencia. Existe una necesidad urgente de diseñar, implementar y aprender de los enfoques de paisajes que dependen e influyen en las relaciones entre los bosques y el agua. Consideramos que esto es fundamental para acelerar el avance hacia los objetivos de sostenibilidad. A continuación hacemos recomendaciones específicas para futuras investigaciones y acciones.

#### **Autoridades encargadas de la toma de decisiones**

- Integrar las interrelaciones entre el bosque y el agua al discurso del cambio climático, donde el concepto de «resiliencia del agua» podría ayudar a múltiples intereses sectoriales (por ejemplo, bosques, agua, energía y agricultura) (Rockström *et al.*, 2014).
- Prestar mayor atención al rol del agua en la mitigación y adaptación al cambio climático en las negociaciones de la CMNUCC, en la Hoja de ruta del Acuerdo de París y en las contribuciones determinadas a nivel nacional.
- Promover la gestión basada en la ciencia con la comprensión de la escala espacial en múltiples niveles (es decir, condiciones locales, nacionales y globales), así como las cuestiones de desempeño, equidad y dinámicas de poder.
- Promover la evaluación cuantificada del desempeño de los enfoques de paisajes integrados para estudiar actividades y procesos a lo largo del tiempo, incluidas las funciones e interacciones bosque-agua y sus efectos socioecológicos.

#### **Profesionales/encargados de la restauración**

- Basar las actividades futuras en enfoques de paisajes que reconozcan las

interrelaciones de los usos de la tierra, los recursos naturales y las comunidades dentro de sistemas socioecológicos más amplios.

- Al planificar actividades futuras, tener en cuenta los cambios posibles en la hidrología debidos al cambio climático.

#### **Organizaciones no gubernamentales e intergubernamentales**

- Analizar en qué medida se contemplan las interrelaciones entre el bosque y el agua en las contribuciones determinadas a nivel nacional, los compromisos relativos a la restauración de bosques y paisajes, las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica y el Marco de Biodiversidad posterior a 2020.
- Iniciar diálogos con los donantes sobre el financiamiento para la implementación de las principales actividades de gestión de bosques y agua según los ODS, como las iniciativas de restauración y la gestión de ecosistemas de agua.

#### **Comunicación con todas las partes interesadas**

- Comunicar los resultados utilizando una terminología común y tecnologías modernas de información y comunicación para llegar a una gama más amplia de grupos y sectores de partes interesadas.
- Acceder a las partes interesadas en todos los niveles y conectar a las partes interesadas del ámbito local y nacional con foros internacionales pertinentes y procesos de diálogo relativos al nexo bosque-agua, como los acuerdos ambientales multilaterales y la Semana Mundial del Agua.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Este documento es el resultado de las reuniones de la red *Forest-Water Champions* (FWC), coorganizadas por la FAO, la UICN y SIWI. La primera reunión, realizada en agosto de 2017, acogió a 12 expertos de los sectores forestal y del agua

de Europa y América del Norte. El grupo de expertos tuvo la ambición de lograr un consenso sobre los asuntos relativos al bosque y el agua, e identificar actividades conjuntas futuras para promover el nexo bosque-agua. La reunión condujo a la realización de una declaración conjunta sobre los bosques y el agua, así como a un informe de actividades de colaboración sugeridas (Springgay *et al.*, 2018). Al año siguiente se realizó una segunda reunión de FWC, en la que algunos de los expertos originales de FWC se unieron a otros. FWC 2 tuvo oficialmente el formato de un Diálogo de Talanoa (CMNUCC, 2018), es decir, un diálogo facilitador entre las partes del Acuerdo de París y otras partes interesadas que no habían participado del mismo, con el objetivo de alcanzar un consenso a través de un diálogo transparente e inclusivo. En 2018, la red FWC también organizó una sesión en la Conferencia Conjunta Bosque-Agua de la IUFRO en Valdivia, Chile. El objetivo de la sesión fue compartir los avances del proceso de FWC e interactuar con los participantes con respecto a las maneras de promover acciones que integrasen la ciencia, las políticas y las prácticas relacionadas con los bosques y el agua a múltiples escalas, especialmente en lo referente al paisaje (véase el resumen de las deliberaciones del grupo en el Cuadro 2). Esta reunión congregó a un grupo más amplio de partes interesadas que las reuniones anteriores, e incluyó a participantes que trabajan en el ámbito académico, el sector privado y organizaciones sin fines de lucro.

James Dalton agradece el aporte a la investigación de la Iniciativa Internacional del Clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear (BMUB) de Alemania, donación número 13\_II\_102. James Reed agradece el aporte a la investigación de IKI (BMUB), donación número 18\_IV\_084. ♦



## Referencias

- Carmenta, R. y Vira, B.** 2018. Integration for restoration: reflecting on lessons learned from the silos of the past. En: *Forest Landscape Restoration*, pp. 32–52. Routledge.
- CMNUCC.** 2018. *Talanoa Dialogue for Climate Ambition – synthesis of the preparatory phase*. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (disponible en <https://talanoadiologue.com/presidencies-corner> o [https://img1.wsimg.com/blobby/go/9fc76f74-a749-4eec-9a06-5907e013dbc9/downloads/1cu4u4230\\_141793.pdf](https://img1.wsimg.com/blobby/go/9fc76f74-a749-4eec-9a06-5907e013dbc9/downloads/1cu4u4230_141793.pdf)).
- Creed, I.F. y van Noordwijk, M., eds.** 2018. *Forest and water on a changing planet: vulnerability, adaptation and governance opportunities. A global assessment report*. IUFRO World Series, Volumen 38. Viena, Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO). 192 p.
- Curtis, P.G., Slay, C.M., Harris, N.L., Tyukavina, A. y Hansen, M.C.** 2018. Classifying drivers of global forest loss. *Science*, 361(6407): 1108–1111.
- Ellison, D., Morris, C.E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., et al.** 2017. Trees, forests and water: cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43: 51–61.
- Eriksson, M., Samuelson, L., Jägrud, L., Mattsson, E., Celander, T., Malmer, A., Bengtsson, K., Johansson, O., Schaaf, N., Svending, O. y Tengberg, A.** 2018. Water, forests, people: the Swedish experience in building resilient landscapes. *Environmental Management*, 62: 45–57. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1066-x>
- Estrada-Carmona, N., Hart, A.K., DeClerck, F.A., Harvey, C.A. y Milder, J.C.** 2014. Integrated landscape management for agriculture, rural livelihoods, and ecosystem conservation: an assessment of experience from Latin America and the Caribbean. *Landscape and Urban Planning*, 129: 1–11.
- Filoso, S., Bezerra, M.O., Weiss, K.C. y Palmer, M.A.** 2017. Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. *PloS ONE*, 12(8): e0183210.
- García-Martín, M., Bieling, C., Hart, A. y Plieninger, T.** 2016. Integrated landscape initiatives in Europe: multi-sector collaboration in multi-functional landscapes. *Land Use Policy*, 58: 43–53.
- Hegerl, G.C., Black, E., Allan, R.P., Ingram, W.J., Polson, D., Trenberth, K.E., et al.** 2015. Challenges in quantifying changes in the global water cycle. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96: 1097–1115. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00212.1>
- INPE.** Sin fecha. TerraBrasilis [<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>]. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). [Citado en julio de 2019].
- IPCC.** 2019. *Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).
- Jones, J.A., Wei, X., Archer, E., Bishop, K., Blanco, J.A., Ellison, D., Gush, M., McNulty, S.G., van Noordwijk, M. y Creed, I.F.** 2019. Forest-water interactions under global change. En: D.F. Levia, D.E. Carlyle-Moses, S. Iida, B. Michalzik, K. Nanko y A. Tischer, eds. *Forest-water interactions*. Ecological Studies Series No. [por determinar]. Heidelberg, Alemania, Springer-Verlag. En prensa.
- Istedt, U., Bargués Tobella, A., Bazié, H.R., Bayala, J., Verbeeten, E., Nyberg, G., Sanou, J., Benegas, L., Murdiyarso, D., Laudon, H., Sheil, D. y Malmer, A.** 2016. Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports*, 6: 21930.
- Istedt, U., Malmer, A., Verbeeten, E. y Murdiyarso, D.** 2007. The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: a systematic review and meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 251: 45–51.
- Kusters, K., Buck, L., de Graaf, M., Minang, P., van Oosten, C. y Zagt, R.** 2018. Participatory planning, monitoring and evaluation of multi-stakeholder platforms in integrated landscape initiatives. *Environmental Management*, 62(1): 170–181.
- Laestadius, L., Buckingham, K., Maginnis, S. y Saint-Laurent, C.** 2015. Antes y después de Bonn: historia y futuro de la restauración de paisajes forestales. *Unasylva*, 66(245): 11.
- Liss Lymer, B., Weinberg, J. y Clausen, T.J.** 2018. Water quality management from source to sea: from global commitments to coordinated implementation. *Water International*, 43(3): 349–360.
- Liu, J., Hull, V., Godfray, H.C.J., Tilman, D., Gleick, P., Hoff, H., Pahl-Wostl, C., Xu, Z., Chung, M.G., Sun, J. y Li, S.** 2018. Nexus approaches to global sustainable development. *Nature Sustainability*, 1(9): 466.
- Morrison, T.H., Adger, W.N., Brown, K., Lemos, M.C., Huitema, D., Phelps, J., Evans, L., Cohen, P., Song, A.M., Turner, R., Quinn, T. y Hughes, T.P.** 2019. The black box of power in polycentric environmental governance. *Global Environmental Change*, 57: 101934.
- Nagendra, H. y Ostrom, E.** 2012. Polycentric governance of multifunctional forested landscapes. *International Journal of the Commons*, 6(2): 104–133.
- Neary, D.G., Ice, G.G. y Jackson, C.R.** 2009. Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*, 258: 2269–2281.
- O'Connor, A., et al.** De próxima publicación. *The potential for integration? An assessment of national environment and development policies*.
- Ostrom, E.** 2010. Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change. *Global Environmental Change*, 20(4): 550–557.
- Power, A.G.** 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554): 2959–2971.

- Reed, J., van Vianen, J., Deakin, E.L., Barlow, J. y Sunderland, T.** 2016. Integrated landscape approaches to managing social and environmental issues in the tropics: learning from the past to guide the future. *Global Change Biology*, 22(7): 2540–2554.
- Reed, J., van Vianen, J., Foli, S., Clendenning, J., Yang, K., MacDonald, M., Petrokofsky, G., Padoch, C. y Sunderland, T.** 2017. Trees for life: the ecosystem service contribution of trees to food production and livelihoods in the tropics. *Forest Policy and Economics*, 84: 62–71.
- Reid, H., Hou Jones, X., Porras, I., Hicks, C., Wicander, S., Seddon, N., Kapos, V., Rizvi, A.R. y Roe, D.** 2019. *Is ecosystem-based adaptation effective? Perceptions and lessons learned from 13 project sites*. IIED Research Report. Londres, Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo (IIED).
- Rockström, J., Falkenmark, M., Folke, C., Lannerstad, M., Barron, J., Enfors, E., Gordon, L., Heinke, J., Hoff, H. y Pahl-Wostl, C.** 2014. *Water resilience for human prosperity*. Cambridge University Press.
- Rockström, J., Falkenmark, M., Karlberg, L., Hoff, H., Rost, S. y Gerten, D.** 2009. Future water availability for global food production: the potential of green water for increasing resilience to global change. *Water Resources Research*, 45(7).
- Seddon, N.** 2018. *Nature-based solutions: delivering national-level adaptation and global goals*. IIED Briefing. Londres, Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo (IIED).
- Seddon, N., Turner, B., Berry, P., Chausson, A. y Girardin, C.A.** 2019. Grounding nature-based climate solutions in sound biodiversity science. *Nature Climate Change*, 9, 84–87.
- Springgay, E., Dalton, J., Samuelson, L., Bernard, A., Buck, A., Cassin, J., Matthews, N., Matthews, J., Tengberg, A., Bourgeois, J., Öborn, I. y Reed, J.** 2018. *Championing the forest–water nexus – report on the Meeting of Key Forest and Water Stakeholders*. Estocolmo, Instituto Hídrico Internacional de Estocolmo (SIWI).
- Tengberg, A., Bagues Tobella, A., Barron, J., Ilstedt, U., Jaramillo, F., Johansson, K., Lannér, J., Petzén, M., Robinson, T., Samuleson, L. y Östberg, K.** 2018. *Water for productive and multifunctional landscapes*. Informe N.º 38. Estocolmo, Instituto Hídrico Internacional de Estocolmo (SIWI).
- Tengberg, A. y Valencia, S.** 2018. Integrated approaches to natural resources management – theory and practice. *Land Degradation and Development*, 29: 1845–1857. <https://doi:10.1002/ldr.2946> ◆



## Turberas: el desafío de cartografiar las reservas invisibles de carbono y agua del mundo

*R. Lindsay, A. Ifo, L. Cole, L. Montanarella y M. Nuutinen*

*Durante mucho tiempo se ignoraron las turberas o no tuvieron el debido reconocimiento, pero desempeñarán un papel crucial en el cambio climático y la seguridad del agua, y deben constituir el foco de las políticas y la investigación.*

**Richard Lindsay** trabaja en el Instituto de Investigación de Sostenibilidad, Universidad de East London, Londres, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte.

**Averti Ifo** trabaja en la Universidad Marien N'Gouabi, *École Normale Supérieure, Département des Sciences et Vie de la Terre, Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée*, Brazzaville, Congo.

**Lydia Cole** trabaja en la Escuela de Geografía y Desarrollo Sostenible, Universidad de St. Andrews, St. Andrews, Escocia.

**Luca Montanarella** trabaja en la Comisión Europea, Centro Común de Investigación (CCI), Ispra, Italia.

**Maria Nuutinen** es oficial forestal del Departamento Forestal de la FAO en Roma, Italia.

Cuando el Apolo 13 sufrió una falla catastrófica durante su viaje a la luna en 1970, inicialmente hubo confusión e incertidumbre. El comandante Jim Lovell detectó que había una fuga de un «gas» que se filtraba al espacio desde el módulo de comando. Una hora después, el módulo de comando había perdido totalmente el suministro de oxígeno, lo que provocó que se apagarán las celdas de combustible, y se quedó sin energía. Si la tripulación hubiera podido identificar y anular la fuga de inmediato, la situación no habría sido tan crítica, pero no pudieron determinar de dónde provenían las emisiones ni la causa del desperfecto. Se hizo evidente que, si iban a sobrevivir, el módulo lunar debía convertirse en su bote salvavidas, a pesar de que dicho módulo había sido diseñado para soportar a dos hombres durante 45 horas, y no a tres hombres durante 90 horas. Los siguientes cuatro días se convertirían en un ejercicio

extraordinario de pensamiento radical y gestión de recursos finitos.

Dada la actual situación de la «nave espacial Tierra», es paradójicamente revelador que el mayor peligro que enfrentó la tripulación del Apolo 13 durante su famoso viaje posterior fuera una acumulación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) dentro de su «bote salvavidas» debido a que los filtros de aire del módulo lunar no podían procesar la carga adicional de dicho gas. La «nave espacial Tierra» también experimenta emisiones peligrosas y un aumento alarmante en la concentración de CO<sub>2</sub>. No obstante, al igual que con el Apolo 13, aunque la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de la Tierra está bien

*Arriba: Un equipo de investigación de la Universidad de East London controla el manto de fango en la zona de turberas de Munsary, propiedad de Plantlife y ubicada en Caithness, norte de Escocia, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte*

documentada, las emisiones que genera esta crisis terrestre están resultando igualmente difíciles de rastrear.

### EMISIONES GLOBALES DE CARBONO: ¿ESTAMOS BUSCANDO EN EL LUGAR CORRECTO?

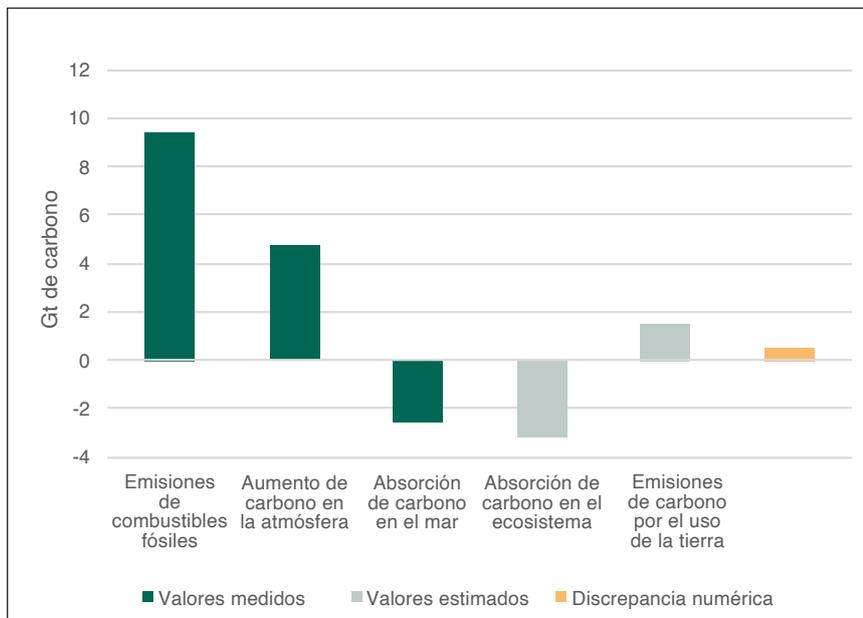
Las cifras generales son claras. Según los últimos datos del Proyecto Mundial sobre el Carbono (Le Quéré, 2018), que estima las rutas del flujo de carbono en función de los valores atmosféricos medidos, el aumento promedio anual de carbono atmosférico en el período 2008-2017 fue de 4,7 gigatoneladas (Gt). Las emisiones anuales promedio de combustibles fósiles en este período fueron de 9,4 gigatoneladas de carbono, y los océanos del mundo absorbieron alrededor de 2,5 gigatoneladas por año de dicha cantidad. Pero hay otras dos vías principales que contribuyen a esta situación del balance de carbono atmosférico: el carbono que se libera por el cambio en el uso de la tierra, estimado en alrededor de 1,5 gigatoneladas por año, y el carbono que absorben los ecosistemas terrestres, estimado en 3,2 gigatoneladas,

lo que deja 0,5 gigatonelada sin contabilizar (Gráfico 1).

En la actualidad, las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, las emisiones de combustibles fósiles y la absorción de los océanos están relativamente bien documentadas, pero las estimaciones globales de las emisiones de carbono derivadas del cambio en el uso de la tierra y del carbono que absorben los ecosistemas terrestres están sujetas a una considerable incertidumbre (Hansis, Davis y Pongratz, 2015). Esto se debe a que ambas son extremadamente difíciles de medir en las diversas formas de intervención del uso de la tierra y de respuesta del ecosistema. Como consecuencia pragmática, al evaluar estos flujos globales, el balance de carbono del cambio en el uso de la tierra se ha estimado esencialmente cuantificando los cambios en la cubierta forestal bajo el supuesto de que, en comparación con la conversión de pastizales a praderas o tierras de cultivo, la conversión de bosques a campo abierto produce pérdidas mucho más significativas tanto de biomasa como de carbono del suelo (Houghton, 1999).

Aunque este supuesto puede cumplirse para la mayoría de los entornos, ciertamente no es el caso de los ecosistemas de turberas. Las extensiones más grandes de turberas se presentan como paisajes abiertos, y se han drenado muchas turberas en bosques naturales para aumentar la producción de madera. La clasificación de suelos de la Base referencial mundial del recurso suelo (IUSS Working Group WRB, 2015) muestra el extraordinario contenido de carbono de los suelos (denominados histosoles) que caracterizan a las turberas (Gráfico 2). Según este contenido de carbono, una profundidad de turba de apenas 30 centímetros contiene 327 toneladas de carbono por hectárea; en comparación, la selva tropical primaria contiene 300 toneladas por hectárea en el suelo y la biomasa combinados (Blais *et al.*, 2005). Esto se debe a que el depósito de carbono en la turba es continuo, mientras que los bosques presentan intersticios entre los árboles; por lo tanto, se dice que se puede caminar *a través de* un bosque, pero solo *sobre* una turbera.

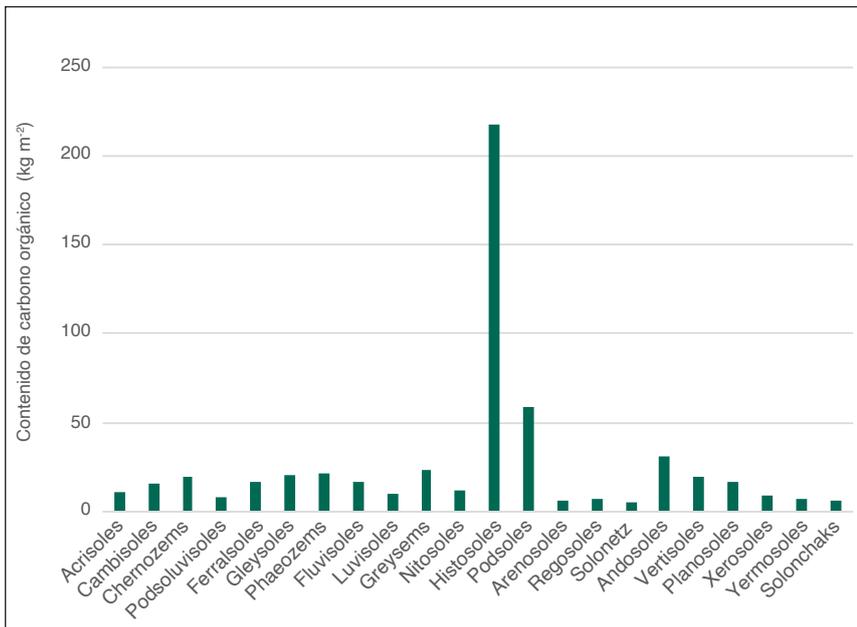
La densidad de carbono varía entre los tipos de turberas, así como entre las diferentes condiciones de las turberas, e incluso con la profundidad de la turba. En general, cuanto más profunda es la turba y menos alterado se encuentra el sistema de turberas, menos denso es su contenido de carbono, aunque esto es relativo. Por ejemplo, Warren *et al.* (2012) registraron un valor bastante consistente de alrededor de 60 toneladas de carbono por metro cúbico para tres tipos de sistemas de turberas tropicales indonesios cuya profundidad oscilaba entre 2,5 metros y 12 metros, y se pueden encontrar densidades de carbono similares en turberas de zonas templadas en Escocia que poseen varios metros de turba en buen estado.



*Nota:* Basado en las emisiones documentadas de los combustibles fósiles, las mediciones de las concentraciones de carbono atmosférico, las mediciones de las concentraciones de carbono en los océanos, las estimaciones de la absorción de los ecosistemas terrestres y las emisiones derivadas de las actividades de uso de la tierra; no se contabiliza la cifra de 0,5 Gt de carbono en las mediciones y estimaciones actuales.

*Fuente:* Proyecto Mundial sobre el Carbono (Le Quéré, 2018).

**1**  
**Estimación de flujos de carbono anuales hacia y desde la atmósfera (2008-2017)**



Nota: Los suelos de turberas son histosoles, y muchos se extienden a profundidades considerablemente mayores a 2 metros.

Fuente: Batjes (1996).

Incluso con estas densidades inferiores de carbono se requiere un espesor de turba de solo 50 centímetros en dichos sitios para igualar el contenido de carbono de la selva tropical (en comparación con el espesor de 30 centímetros que se requiere para obtener depósitos de turba más delgados y densos). Adicionalmente, dada la profundidad de la mayoría de las turberas (la profundidad de la turba puede llegar a extenderse hasta 60 metros debajo de la superficie), evaluaciones recientes han estimado que, a nivel mundial, los sistemas de turberas contienen un promedio de 1 375 toneladas de carbono por hectárea, más de cuatro veces el carbono que se almacena en un área equivalente de selva tropical (Yu *et al.*, 2010; Crump, 2017).

La densidad del carbono es una fuente de variación, pero la profundidad de la turba genera aún más niveles de incertidumbre. La Base de Datos Mundial Armonizada sobre el Suelo (HWSD) (FAO / IIASA / ISRIC / ISS-CAS / JRC, 2009) toma 1 metro de profundidad como referencia de profundidad para cada unidad de suelo porque muchas de las encuestas nacionales de suelos que aportan información a la Base de Datos Armonizada han adoptado

este límite. En consecuencia, la base de datos HWSD se ve seriamente limitada en su capacidad para brindar estimaciones de profundidad de turba y almacenamiento de carbono para el recurso global de turberas. La HWSD está aún más limitada para lograr una identificación precisa de la verdadera extensión del recurso de turba en el mundo debido a la escala relativamente gruesa del mapeo y la cantidad a menudo escasa de muestras de campo que se emplean para generar los datos del estudio de suelos. De hecho, si hay un tema coherente en la bibliografía que trata la extensión de las turberas y el flujo global del carbono, es el reconocimiento de que la extensión y la profundidad de las turberas no están bien documentadas, y los cambios en el uso de la tierra vinculados a las turberas no se incluyen en las evaluaciones atmosféricas globales actuales (Houghton, 1999; Houghton, 2003; Houghton *et al.*, 2012). Hay muchas razones para esto, pero la causa subyacente es que las turberas son «invisibles», tanto física como culturalmente. Se les ha denominado el «hábitat Cenicienta» porque brindan muchos servicios ecosistémicos, pero continúan sin tener el debido reconocimiento (Lindsay,

2

## Contenido de carbono orgánico para unidades de suelo FAO-UNESCO de hasta 2 metros de profundidad

1993). Los suelos que caracterizan a las turberas están ocultos debajo de la superficie, lo que dificulta la diferenciación entre turberas y no turberas. Por otra parte, la reputación de las turberas como tierras yermas improductivas y peligrosas, únicamente idóneas para convertirse a usos productivos, ha significado que las turberas también han tendido a desaparecer de nuestra conciencia cultural colectiva y, por ende, se han vuelto más difíciles de reconocer. Por consiguiente, a menudo las turberas se clasifican como algo diferente a lo que son, con el resultado de que su manejo provoca daños que ni siquiera se pueden observar. Esto es peligroso porque el hecho de que una zona no se reconozca debidamente como turbera puede tener consecuencias inesperadas y, a veces, muy costosas.

### TURBA DELGADA: PERIFÉRICA, PERO CRUCIAL

El problema es especialmente crucial para las turbas más delgadas, esencialmente aquellas con profundidades de 20 a 60 centímetros, no solo porque tienden a cubrir considerablemente más superficie que la turba profunda, sino también porque se confunden más fácilmente con otros hábitats y se destruyen con mayor facilidad. Por consiguiente, los depósitos de turba delgada son más difíciles de cartografiar, y su naturaleza superficial los hace más susceptibles a la explotación, degradación y pérdida total. Tanneberger *et al.* (2017) procuraron crear un mapa armonizado de las turberas en Europa basado en datos que se habían presentado en el primer estudio completo de turberas en el continente (Joosten, Tanneberger and Moen, 2017). Tanto Tanneberger *et al.* (2017) como Joosten, Tanneberger y Moen (2017) decidieron, sin embargo, no especificar una profundidad mínima de turba para la definición de turbera porque se reconoció que se habían aplicado diferentes límites



**Una hectárea de turba de apenas 30 centímetros de profundidad contiene tanto carbono como una hectárea de selva tropical primaria, aunque puede confundirse con otros hábitats como el brezal, por lo que se maneja de forma inadecuada. Una capa de turba tan delgada se destruye fácilmente con un manejo inapropiado (por ejemplo, con pasar el arado una sola vez), mientras que, en el caso de la pérdida de reservas de carbono en una selva tropical la situación es diferente, pues allí, aun después de la tala y la quema, permanecen las raíces y los tocones del bosque. Sin embargo, la pérdida de turba delgada no concita tanta atención mundial como la pérdida de la selva tropical**

de profundidad de turba en los distintos países, e incluso algunos habían ignorado por completo la turba delgada. Por ejemplo, en el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, la cifra que Tanneberger *et al.* (2017) atribuyeron como aporte de dicho país al mapa europeo de turba es de 2,6 millones de hectáreas, pero el capítulo pertinente en Joosten, Tanneberger y Moen (2017) da una cifra de 7,4 millones de hectáreas para «turba y suelos de turba» (Lindsay y Clough, 2017). Por lo tanto, solo en el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, la zona de incertidumbre sobre la verdadera extensión de la turbera asciende a alrededor de 4 millones

de hectáreas, cifra que está casi enteramente asociada a la turba delgada. Si se asume una profundidad de 30 centímetros para esta turba, la cantidad de carbono almacenada dentro de este único ejemplo de incertidumbre en el recurso de turberas de una nación se aproxima al total de las emisiones globales anuales estimadas de 1,5 gigatoneladas de carbono resultantes del cambio en el uso del suelo.

Dicha incertidumbre está lejos de ser exclusiva del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte; se trata de un problema global. ¿Qué implica para el alcance, la condición y las posibles emisiones de las turberas como recurso mundial? Yu

*et al.* (2010) ofrecieron estimaciones ampliamente citadas de 4,4 millones de kilómetros cuadrados (3 % de la superficie terrestre mundial) y alrededor de 600 gigatoneladas de carbono almacenado para la extensión *conocida* del recurso de turba global, basadas fundamentalmente en áreas documentadas de turba profunda. Si se consideran estas estimaciones en forma aislada, significa que el recurso mundial conocido de turberas contiene más carbono que toda la vegetación mundial combinada (Scharlemann *et al.*, 2014). El hecho de que incluso las turbas delgadas (es decir, las turbas más vulnerables al cambio en el uso de la tierra) tengan el potencial de liberar

tanto carbono por unidad de superficie como la tala de bosques tropicales primarios, dota de una urgencia particular a la necesidad de efectuar un mapeo preciso de estas zonas de turba más delgada tan ignoradas y potencialmente muy grandes. Incluso pequeños cambios en la extensión de los recursos de turba cartografiados a escalas nacionales y mundiales podrían implicar cambios sustanciales en la situación de los flujos de carbono asociados, ya sea negativamente, en términos de emisiones resultantes de la destrucción por falta de conciencia, o, positivamente, al detener las emisiones, preservar el carbono, recuperar otros servicios del ecosistema y, a la larga, volver a transformar los sistemas en sumideros de carbono.

### CONSECUENCIAS DEL MAL MANEJO DE LAS TURBERAS

#### Liberación de carbono

Las turberas son humedales de gran importancia en términos de almacenamiento y liberación de carbono porque el anegamiento preserva la materia vegetal muerta. Cuando mueren las plantas de los humedales, sus restos se acumulan *in situ* porque el anegamiento ralentiza la descomposición hasta el punto de que una proporción de este material vegetal y el carbono asociado se conservan en lo que se convierte en turberas, a menudo a lo largo de milenios. Su estado anegado significa que comúnmente la turba llega a tener un 95 % de agua en peso y un 85 % en volumen, lo que significa que las turberas son contribuyentes importantes para el control del agua, a menudo a escala del paisaje. Sin embargo, la tendencia general del uso de la tierra para estos paisajes húmedos ha sido drenarlos para que permitan su explotación (IPBES, 2018). Cuando se elimina el agua de la matriz de la turba como consecuencia del drenaje, la turba se encoge considerablemente a través de una «consolidación primaria» y una «compresión secundaria», lo que genera el hundimiento de la superficie del terreno. Asimismo, cuando el aire penetra en la turba normalmente

saturada de agua, inicia una descomposición rápida y se libera carbono a largo plazo a la atmósfera («desperdicio oxidativo»), lo que genera emisiones de carbono y un mayor hundimiento del suelo.

Por ende, es desafortunado que el drenaje de tales sistemas se capte de manera inadecuada en el actual modelo atmosférico global de flujos de carbono en términos de emisiones debido al cambio en el uso de la tierra en las turberas (Houghton *et al.*, 2012). Dichas emisiones podrían ser considerablemente mayores que las que se muestran en el Gráfico 1, pero en ese caso también deben equilibrarse con una mayor captura de carbono que la indicada, lo que da como resultado el mismo aumento general del CO<sub>2</sub> atmosférico. Sin embargo, si esta absorción adicional de CO<sub>2</sub> por parte de los ecosistemas terrestres comienza a fallar como consecuencia del cambio climático, las emisiones resultantes del cambio en el uso de la tierra podrían adquirir una considerable importancia adicional. La principal fuente alternativa de estimaciones de emisiones debidas al cambio en el uso de la tierra son los datos recabados de los informes nacionales sobre la cantidad de gases de efecto invernadero presentados en virtud del Protocolo de Kyoto. Se ha ampliado la orientación que se brinda a los responsables de estos informes nacionales (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, 2014) a fin de incluir procedimientos para estimar las emisiones de carbono de los sistemas de turberas que están sujetos a un drenaje con fines agrícolas, por ejemplo. Sin embargo, incluso la recopilación de esta información proporciona solo una imagen parcial de la situación, porque algunas naciones no participan y todos los países tienen dificultades para decidir el área sobre la cual se deben aplicar los factores de emisión particulares relacionados con la turba porque la extensión de la turbera es muy poco conocida.

#### El problema del hundimiento

El hundimiento de la turba en sí da lugar a consecuencias indeseables más allá

de las pérdidas de carbono. En las llanuras del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, la zona oriental de East Anglia, conocida como «los Fens», fue en algún momento una turbera que abarcaba 1 500 kilómetros cuadrados. Los registros del siglo XVII indican que esta turba acumulada fue un factor clave para contener el avance del mar sobre esta gran cuenca de drenaje (Darby, 1956, p. 107). El drenaje intensivo que sufrió la zona en los siglos XVIII y XIX de manos de los «aventureros» (a los que hoy se podría llamar especuladores financieros) para plantar cultivos herbáceos en el rico suelo de turba ha dado lugar a algunas de las mejores tierras agrícolas de Inglaterra. Sin embargo, ello implicó pagar un precio considerable, más allá de la pérdida de la rica biodiversidad que la zona poseía. Los suelos de turba sujetos a la agricultura intensiva liberan hasta 8 toneladas de carbono por hectárea al año a través del desperdicio oxidativo (Evans *et al.*, 2016), y la superficie del suelo desciende hasta tal punto que muchas zonas ahora se encuentran hasta 3 metros por debajo del nivel del mar. La agricultura continua solo es posible debido a una infraestructura de drenaje considerable y muy cara, y el costo ahora es tan elevado, y la amenaza del aumento del nivel del mar y el descenso del nivel del suelo es tan grave, que el organismo de medio ambiente británico (*Environment Agency*) está analizando la necesidad de trasladar comunidades enteras a terrenos más seguros en un futuro previsible (*Environment Agency*, 2019).

En las zonas costeras del sudeste asiático se están debatiendo cuestiones similares, dado que extensas turberas se han convertido en grandes proyectos arroceros y, más recientemente, en plantaciones de palma aceitera y acacia. Esto ha provocado incendios generalizados de turberas, y el hundimiento de las turberas está en peligro de causar grandes áreas de inundaciones costeras (Hooijer, 2012). Estos y otros problemas han surgido una y otra vez, ya sea porque no se reconoció que un área en particular era una turbera, o porque no se

entendieron cabalmente las consecuencias de explotar la turbera. Ambas razones continúan siendo grandes desafíos en todo el mundo, e incluso se continúan pasando por alto grandes depósitos de turba profunda, se clasifican de manera errónea o se incluyen dentro de algún otro tipo de hábitat (tal como se analiza a continuación). Por otro lado, el hecho de que cada vez se es más consciente de que tales acciones también tienen consecuencias importantes para las emisiones de carbono (Page *et al.*, 2002) podría estimular que hubiera un mayor interés actual en determinar con precisión el lugar donde se encuentran las turberas y la mejor manera de manejarlas. En los últimos años se reclasificaron varios sistemas de turberas importantes y se las reconoció como tales, tras haberse descrito previamente como otros tipos de hábitats.

#### **SITUACIÓN REGIONAL DEL MAPEO DE TURBERAS RESPECTO DEL CARBONO, EL AGUA Y LA BIODIVERSIDAD**

Se han logrado progresos sustanciales para cartografiar las turberas y desarrollar procesos de políticas alrededor de la última década, tal como se ilustra en los ejemplos que figuran a continuación. Sin embargo, es probable que haya muchas otras zonas de turberas que se omitieron por no haberse descubierto, particularmente en África, como también zonas de turba delgada en todos los continentes, que actualmente se clasificaron de manera diferente y no como turberas.

#### **Las vastas turberas del Congo**

En las profundidades de la cuenca del Congo, en un área de acceso sumamente difícil, recientemente salió a la luz un sistema de turberas gracias a la colaboración científica entre varios equipos de investigadores. Este complejo de turberas ahora se reconoce como el sistema continuo de turberas más grande que se conoce en los trópicos, con casi 145 000 kilómetros cuadrados, dos tercios de los cuales se encuentran en la República Democrática del Congo y el tercio restante en la parte



*La población local recibe capacitación sobre el uso de una aplicación para teléfonos móviles con el fin de recopilar información sobre la productividad de *Mauritia flexuosa* en un pantano de palmas (conocido regionalmente como un aguajal) en la cuenca Pastaza-Marañón, oeste de la Amazonia*

© L. COLE

oriental del Congo (Dargie *et al.*, 2017). El área es tan enorme que abarca dos sitios Ramsar muy grandes: Lac Télé en el Congo y Ngiri-Tumba-Maindombe en la República Democrática del Congo, y este último es el segundo sitio Ramsar más grande del mundo. La extensión conocida del área de turberas recientemente identificada representa casi el 4 % de la cuenca del Congo (la segunda cuenca fluvial más grande del mundo). Con mediciones de profundidades de turba que ascienden a 0,3–5,9 metros, se estima que el área de turbera registrada contiene 30 gigatoneladas de carbono; por lo tanto, este sistema de turberas contiene casi el 5 % del carbono contenido en las turberas conocidas del mundo. Esta turbera desempeña un papel esencial en el clima regional de la cuenca del Congo y contribuye con un aporte considerable y activo a la dinámica de captación del río Congo, solo superada por el Amazonas en su volumen de descarga. El complejo de turberas constituye un enorme reservorio de agua dulce y, debido a que es tan grande que a menudo cubre interfluvios enteros, es una fuente esencial de agua para varios sistemas tributarios (por ejemplo, Oubangui y Sangha) que fluyen a través de esta vasta zona ecológica.

Impulsados por las preocupaciones sobre los posibles efectos del cambio climático en la región, los investigadores del proyecto CongoPeat buscan comprender cómo se desarrollaron originalmente las turberas y qué las ha mantenido como sistemas anegados y formadores de turba durante los últimos 10 000 años aproximadamente, con lo que permitieron el establecimiento de la biodiversidad excepcional del área. Además de preparar mapas preliminares de las turberas para permitir una mejor planificación del uso de la tierra, el equipo de CongoPeat está tratando de comprender el balance hídrico de estos sistemas porque la mayoría parece estar desplazando agua, lo que significa que dependen únicamente de los aportes de las precipitaciones directas para el suministro de agua

(es decir, son pantanos ombrotrofos). En tales sistemas, las pérdidas por evaporación y drenaje por gravedad deben equilibrarse con los aportes que ingresan por precipitación, y puede haber consecuencias significativas si estos ingresos y pérdidas se ven alterados por una disminución regional de las lluvias o un cambio climático a más largo plazo. Debido a que las turberas del Congo dependen del patrón general de lluvias de la cuenca, es significativo que los datos y publicaciones recientes sobre la lluvia en la República del Congo hayan mostrado una marcada disminución en los aportes de lluvias. Esto probablemente se deba en parte a la deforestación, pero principalmente a las recientes tendencias negativas en los parámetros atmosféricos y oceánicos; es decir, la oscilación atlántica de varias décadas, el índice de oscilación del Atlántico Norte y el índice de oscilación del sur (Ibiassi Mahoungou *et al.*, 2017; Ibiassi Mahoungou, 2018). Particularmente a la luz de estas tendencias, se deben responder preguntas importantes: ¿Cuánta lluvia se requiere para mantener las condiciones de saturación? ¿Y cuánta agua se pierde por evaporación, evapotranspiración y drenaje lateral?

Además de los estudios destinados a determinar el balance hídrico, los estudios de campo han revelado la excepcional biodiversidad de estas turberas, que incluyen especies icónicas como el hipopótamo y el elefante del bosque. Los tres grandes primates africanos: gorilas, chimpancés y bonobos, tienen poblaciones considerables allí (Fay *et al.*, 1989; Fay y Agnagna, 1992; Blake *et al.*, 1995), y la región admite más de 350 especies de aves, incluidas varias especies endémicas (Evans y Fishpool, 2001). Esto pone de relieve el hecho de que, debido a que frecuentemente se pasan por alto las turberas, la notable y a menudo muy distintiva biodiversidad que mantienen también permanece oculta o se asume que depende de otros tipos de hábitat cuando las turberas pueden, de hecho, constituir zonas de hábitat cruciales para ciertas

especies clave (por ejemplo, Singleton y van Schaik, 2001; Baker *et al.*, 2010). Los recursos que se invierten en mantener los hábitats que se consideran vitales para esta biodiversidad pueden desperdiciarse si entretanto se pierden las verdaderas características de ese hábitat crucial a través de acciones erróneas.

### **Turberas en el Amazonas**

En las últimas décadas, ha tenido lugar una historia de descubrimiento similar en la cuenca fluvial más grande del mundo: el Amazonas. En algunos de los primeros estudios publicados sobre las turberas de la cuenca Pastaza-Marañón de la Amazonia occidental en la planicie del norte de Perú se describió una zona rica en turba de aproximadamente 100 000 kilómetros cuadrados, que contiene 2 a 20 gigatoneladas de carbono (Lähteenoja *et al.*, 2009). Desde entonces, se han llevado a cabo investigaciones para afinar estas estimaciones y comprender más sobre los procesos de desarrollo de la zona (Roucoux *et al.*, 2013; Kelly *et al.*, 2017) y las características del ecosistema (Draper *et al.*, 2014, 2018). Resulta clave comprender la variabilidad interanual de las inundaciones, las perturbaciones ambientales asociadas y la dinámica de los canales y ríos de la cuenca del Amazonas para comprender el desarrollo de sus turberas (Gumbricht *et al.*, 2017). Tales factores han creado una compleja disposición de ambientes que están anegados durante todo el año y, por ende, son ideales para el desarrollo de turberas (por ejemplo, Householder *et al.*, 2012).

A diferencia del sudeste asiático, donde las cúpulas costeras son la forma dominante donde se encuentra la turba (Dommain, Couwenberg y Joosten, 2011), muchas de las turberas de la cuenca Pastaza-Marañón son pequeñas, discretas y transitorias en escalas temporales geológicas. A la fecha, se han encontrado profundidades de hasta 7,5 metros (Lähteenoja *et al.*, 2009), cubiertas por comunidades de vegetación que varían desde ecosistemas abiertos de hierba y

ricos en juncias hasta bosques de postes y pantanos de palmeras, donde suele predominar una palma de particular valor económico: *Mauritia flexuosa*, (Lähteenoja *et al.*, 2009). Las personas que viven en las turberas y sus alrededores de la cuenca Pastaza-Marañón clasifican y usan estos ecosistemas de varias maneras (Schultz *et al.*, 2019), aunque tienden a evitarlos cuando disponen de otros tipos de paisajes alternativos (L. Cole, comunicación personal, 2019). A nivel local, las turberas a menudo se denominan ambientes de «succión» (chupaderas), lo que ilustra la experiencia que se vive al atravesarlas.

Aunque la cuenca Pastaza-Marañón es grande y considerable, es solo una de las cuencas del Amazonas que contiene turba. Se han clasificado otras en el este de la Amazonia en Perú (Householder *et al.*, 2012) y en la Amazonia brasileña (Lähteenoja, Flores y Nelson, 2013), y es probable que haya muchas más zonas, que son actualmente «invisibles», que deben ser formalmente identificadas y clasificadas y son objeto de diversas amenazas. En comparación con la situación del sudeste asiático (Page y Hooijer, 2016), muchas de las turberas de la Amazonia están relativamente intactas y bajo una amenaza inmediata limitada de drenaje o conversión. La variabilidad interanual de las inundaciones de los ríos de la cuenca, con niveles de agua que en algunos lugares crecen hasta 10 metros, significa que drenar las turberas sería casi imposible. La falta de una red vial coherente también impide el transporte terrestre de maquinaria y recursos humanos para apoyar el drenaje a escala industrial. Sin embargo, los planes para extender ampliamente la infraestructura regional y mejorar las capacidades de extracción en el futuro aumentarían la vulnerabilidad de las turberas de la cuenca Pastaza-Marañón y demás sitios (Roucoux *et al.*, 2017). El desafío para la comunidad científica es evaluar los aportes que hacen las turberas amazónicas al ciclo del carbono y el agua, que se considera de gran importancia a



Un pantano de palmas (aguajal) dominado por *Mauritia flexuosa* en la cuenca Pastaza-Marañón, oeste de la Amazonia

© L. COLE



**Especie carnívora *Drosera binnata* en el margen de un estanque de turba que se formó en un pantano de turberas ubicado cerca de Moon Point, Isla Fraser, Australia**

escala local y global (Gumbricht *et al.*, 2017), antes de que esos aportes se vean comprometidos.

#### **Turberas recién descubiertas en la isla Fraser**

En la isla Fraser, en la costa del estado australiano de Queensland, las áreas otrora clasificadas como «brezales húmedos», de escaso interés, ahora se reconocieron como sistemas de turberas altamente distintivos que brindan apoyo a un número considerable de especies en peligro de extinción (Fairfax y Lindsay, de próxima publicación). Estas turberas, que habían sido previamente excluidas del Sitio del

Patrimonio Mundial de la Isla Fraser, en la actualidad pueden incorporarse como componentes importantes del ecosistema. Con un manejo prudente, las turberas también tienen el potencial de ser valiosos sumideros de carbono y proveedores clave en las zonas interiores de aguas ricas en hierro para apoyar el papel de los manglares costeros como zonas de cría para las poblaciones locales de peces.

#### **Turberas en Europa**

Tanneberger *et al.* (2017) estimaron que el área de turberas en Europa era de 593 727 kilómetros cuadrados. Se descubrió que los lodazales, que, por definición están dominados por plantas vivas y formadoras de turba, cubren más de 320 000 kilómetros cuadrados (alrededor

del 54 % del área total de turberas). Si se incluyen las turberas poco profundas (<30 centímetros de turba) en la parte europea de la Federación de Rusia, el área total de turberas en Europa es de más de 1 millón de kilómetros cuadrados, casi el 10 % de la superficie total. Las turberas se distribuyen ampliamente entre los países de la Unión Europea (UE), con concentraciones en el norte, centro y este de Europa (Alemania, Irlanda, los Países Bajos, Polonia, el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte y los países nórdicos y bálticos). Existen esfuerzos oficiales de investigación de políticas, evaluaciones políticas y disposiciones legislativas firmes que reconocen la necesidad de proteger las turberas y la vulnerabilidad inherente de sus suelos. En

la práctica, sin embargo, continúa la degradación de estos ecosistemas en toda la UE, debido principalmente al drenaje para la agricultura y la silvicultura y la extracción de turba para combustible y horticultura.

A pesar de los continuos esfuerzos de los estados miembros de la UE y las autoridades normativas para revertir la tendencia y proteger y restaurar las turberas y otros humedales y evitar su drenaje y degradación continuos, existe escasa investigación sobre la eficacia directa o los impactos intersectoriales de las numerosas intervenciones. Las leyes ambientales de la UE y los sistemas de incentivos, particularmente aquellos vinculados al marco Natura 2000, han establecido un régimen de protección fuerte para las turberas, pero otros marcos legislativos, incluida la Política Agrícola Común y la política de energía renovable, posiblemente hayan tenido efectos opuestos al proporcionar incentivos perversos. Aún no se han abordado por completo los efectos específicos de los marcos de políticas climáticas de la UE en las turberas (Peters y von Unger, 2017). Sin embargo, se puede iniciar un nuevo esfuerzo en respuesta a una resolución reciente de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2019), que insta a hacer mayor hincapié en la conservación, la gestión sostenible y la restauración de las turberas en todo el mundo, tal como se recomienda en una evaluación reciente de la Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, 2018).

### CONCLUSIÓN

En el presente artículo hacemos algunas recomendaciones simples para mejorar la comprensión del verdadero alcance de las turberas en el planeta, lo que implica el primer paso para protegerlas, por todos los beneficios que aportará.

### Recomendaciones para actuar: encontrar la turba

Se pueden emplear dos pasos simples para determinar si estamos parados sobre turba:

1. La turba es un suelo relativamente blando, por lo que debería ser posible empujar una varilla o un palo de un diámetro de 6–8 milímetros y hacer que penetre al menos 30 centímetros en el suelo con solo aplicar la presión de la mano. Empleamos una varilla de acero roscada de 6 milímetros de diámetro, algo que se consigue con facilidad en todo el mundo. Es posible que esto no funcione tan fácilmente en algunas turbas tropicales que constan principalmente de madera, pero, aun así, debería ser posible encontrar al menos algunos lugares donde se pueda hacer que la varilla o el palo penetren a una profundidad de al menos 30 centímetros con relativa facilidad.
2. Tome una muestra de una profundidad de 20–30 centímetros, deje secar la muestra al aire y observe si se quema al fuego. El alto contenido de materia orgánica de la turba significa que, una vez que se haya secado, se debe encender fácilmente.<sup>1</sup>

Quizás el mayor desafío para determinar el verdadero alcance de las turberas identificadas a través de estudios es la resolución utilizada. Si una pequeña bolsa de turba que mide 100 metros por 100 metros (es decir, 1 hectárea) por 30 centímetros de profundidad puede contener tanto carbono como la misma superficie de selva tropical primaria, hay un beneficio evidente en asegurar que la resolución de mapeo sea lo suficientemente fina para identificar áreas de este tamaño. Por ende, el ideal es que se haga el mapeo a una escala de 1:10 000, pero, en el caso de zonas grandes, la resolución de 1:20 000 quizás sea la mayor resolución factible con los recursos disponibles y la tecnología actual.

<sup>1</sup> Nótese que los suelos que contienen residuos agroquímicos pueden liberar vapores nocivos o tóxicos cuando se calientan, por lo que se deberán tomar las precauciones del caso.

### Recomendaciones para las autoridades normativas

Las autoridades que tengan a su cargo la formulación de políticas en los países deberían tener en cuenta los siguientes puntos:

- Verificar si es probable que haya más turberas en el país.
- Priorizar el mapeo de turberas a una escala de al menos 1:20 000, si bien lo ideal es 1:10 000.
- Cartografiar la gestión previa, en curso y planificada («datos de actividad», según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), incluida la infraestructura de drenaje existente y otras actividades de medios de vida en la zona (por ejemplo, pesca y extracción de turba).
- Incluir mapas de turberas en los procesos de planificación desde la escala local a la regional, no solo para los beneficios del clima y la biodiversidad, sino también para la seguridad del agua y la reducción del riesgo de desastres.
- Proteger las turberas sin drenar para evitar actividades que puedan causar cambios importantes en su hidrología y servicios ecosistémicos asociados.
- Presupuestar la restauración de turberas drenadas, así como la documentación y el desarrollo de opciones de medios de vida sin drenaje.
- Si continúa el drenaje de turberas, invertir en el desarrollo de sistemas para la evaluación del riesgo de incendios, la reducción de incendios y la gestión de incendios.
- Alinear los incentivos, la legislación y la aplicación de las leyes para apoyar estos objetivos.
- Comunicar a todas las autoridades que tengan a su cargo la toma de decisiones, a las partes interesadas y al público la importancia de las turberas para el agua, la biodiversidad

y el cambio climático.

- Controlar el estado de las turberas para detectar posibles signos de usos emergentes del suelo debidos al drenaje e impactos del uso del suelo.
- Informar sobre el estado de las turberas en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los convenios internacionales.

### Reflexiones finales

La «nave espacial Tierra» no es un concepto nuevo, pero, en todo el mundo, las respuestas activas de los jóvenes a la protesta climática de la estudiante Greta Thunberg sugieren que los jóvenes de hoy en día tal vez capten la realidad de este concepto con mayor sentido de urgencia que las generaciones anteriores. Los jóvenes esperan que quienes detentan el poder tomen el mismo tipo de decisiones audaces y creativas que el equipo altamente enfocado que devolvió a la tripulación del Apolo 13 a la Tierra de forma segura. Identificar la verdadera extensión de las turberas del mundo y trabajar para volver a transformarlas en sumideros en lugar de fuentes de carbono es sin duda un desafío difícil. Pero, en las palabras del difunto John F. Kennedy (el 35.º presidente de los Estados Unidos de América y uno de los principales defensores del Programa Espacial de dicho país en la década de 1960), elegimos hacer estas cosas «no porque sean fáciles, sino porque son difíciles, porque ese objetivo servirá para organizar y medir lo mejor de nuestras energías y habilidades, porque ese desafío es algo que estamos dispuestos a aceptar».

Los integrantes de la próxima generación esperan que encaremos el desafío del cambio climático para que ellos y la «nave espacial Tierra» puedan sobrevivir. Porque, para ellos no hay un módulo lunar, no hay bote salvavidas, y no hay alternativa. ♦



## Referencias

- Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente.** 2019. Conservación y gestión sostenible de las turberas. UNEP/EA.4/L.19, Nairobi, 11 al 15 de marzo de 2019.
- Baker, J.R., Whelan, R.J., Evans, L., Moore, S. y Norton, M.** 2010. Managing the ground parrot in its fiery habitat in south-eastern Australia. *Emu: Austral Ornithology*, 110(4): 279–284.
- Batjes, N.H.** 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47: 151–163.
- Blais, A.M., Lorrain, S., Plourde, Y. y Varfalvy, L.** 2005 Organic carbon densities of soils and vegetation of tropical, temperate and boreal forests. En: A. Tremblay, L. Varfalvy, C. Roehm y M. Garneau, eds. *Greenhouse gas emissions – fluxes and processes*, pp. 155–185. Environmental Science. Berlín, Alemania, Springer.
- Blake, S., Rogers, E., Fay, J.M., Ngangoué, M. y Ebeke, G.** 1995. Swamp gorillas in northern Congo. *African Journal of Ecology*, 33, 285–290.
- Crump, J., ed.** 2017. *Smoke on water – countering global threats from peatland loss and degradation. A UNEP rapid response assessment*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y GRID-Arendal, Nairobi y Arendal, www.grida.no.
- Darby, H.C.** 1956. *The draining of the fens*. Segunda edición. Cambridge, Cambridge University Press. 314 p.
- Dargie, G.C., Lewis, S.L., Lawson, I.T., Mitchard, E.T.A., Page, S.E., Bocko, Y.E. e Ifo, S.A.** 2017. Age, extent and carbon storage of the central Congo Basin peatland complex. *Nature*, 542: 86–90. DOI: 10.1038/nature21048
- Dommain, R., Couwenberg, J. y Joosten, H.** 2011. Development and carbon sequestration of tropical peat domes in south-east Asia: links to post-glacial sea-level changes and Holocene climate variability. *Quaternary Science Reviews*, 30(7–8): 999–1010.
- Draper, F.C., Roucoux, K.H., Lawson, I.T., Mitchard, E.T.A., Honorio Coronado, E.N., Lähteenoja, O., Torres Montenegro, L., Valderrama Sandoval, E. Zárate, R. y Baker, T.R.** 2014. The distribution and amount of carbon in the largest peatland complex in Amazonia. *Environmental Research Letters*, 9(12).
- Draper, F.C., Honorio Coronado, E.N., Roucoux, K.H., Lawson, I.T., Pitman, N.C.A., Fine, P.V.A., Phillips, O.L., Torres Montenegro, L.A., Valderrama Sandoval, E., Mesones, I., García-Villacorta, R., Ramírez Arévalo, F.R. y Baker, T.R.** 2018. Peatland forests are the least diverse tree communities documented in Amazonia, but contribute to high regional beta-diversity. *Ecography*, 41, 1256–1269.
- Environment Agency.** 2019. Draft National Flood and Coastal Erosion Risk Management Strategy for England. Rotherham, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte (disponible en [https://consult.environment-agency.gov.uk/fcrm/national-strategy-public/user\\_uploads/fcrm-strategy-draft-final-1-may-v0.13-as-accessible-as-possible.pdf](https://consult.environment-agency.gov.uk/fcrm/national-strategy-public/user_uploads/fcrm-strategy-draft-final-1-may-v0.13-as-accessible-as-possible.pdf)).
- Evans, C., Morrison, R., Burden, A., Williamson, J., Baird, A., Brown, E., Callaghan, N. et al.** 2016. *Lowland peatland systems in England and Wales – evaluating greenhouse gas fluxes and carbon balances*. Informe final a Defra sobre el Proyecto SP1210. Bangor, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, Centro de Ecología e Hidrología (CEH).
- Fairfax, R. y Lindsay, R.** De próxima publicación. An overview of the patterned fens of Great Sandy Region, far eastern Australia. *Mires and Peat*.
- Fay, J.M., Agnagna, M., Moore, J. y Oko, R.** 1989. Gorillas (*Gorilla g. gorilla*) in the Likouala swamp forests of North Central Congo: preliminary data on populations and ecology. *International Journal of Primatology*, 10, 477–486.
- Fay, J.M. y Agnagna, M.** 1992. Census of gorillas in northern Republic of Congo.

- American Journal of Primatology*, 27, 275–284.
- Evans, M.I. y Fishpool, L.D.C.** 2001. *Important bird areas in Africa and associated islands: priority sites for conservation*. Cambridge, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, Birdlife International y Pisces Publications.
- FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC.** 2009. *Harmonized World Soil Database (version 1.1)*. Roma, FAO y Laxenbrug, Austria, Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA).
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).** 2014. 2013 *Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*. T. Hiraishi, T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, J. Baasansuren, M. Fukuda y T.G. Troxler, eds. Suiza, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 354 p.
- Gumbricht, T., Roman-Cuesta, R.M., Verchot, L.V., Herold, M., Wittmann, F.K., Householder, E., Herold, N. y Murdiyarso, D.** 2017. An expert system model for mapping tropical wetlands and peatlands reveals South America as the largest contributor. *Global Change Biology*, 23(9): 3581–3599.
- Hansis, E., Davis, S.J. y Pongratz, J.** 2015. Relevance of methodological choices for accounting of land use change carbon fluxes. *Global Biogeochemical Cycles*, 29: 1230–1246.
- Hooijer, A., Page, S., Jauhiainen, J., Lee W.A., Lu, X.X., Idris, A. y Anshari G.** 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences*, 9: 1053–1071.
- Houghton, R.A.** 1999. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850–1990. *Tellus*, 51B: 298–313.
- Houghton, R.A.** 2003. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. *Tellus*, 55B: 378–390.
- Houghton, R.A., House, J.I., Pongratz, J., van der Werf, G.R., DeFries, R.S., Hansen, M.C., Le Quéré, C. y Ramankutty, N.** 2012. Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*, 9: 5125–5142.
- Householder, J.E., Janovec, J.P., Tobler, M.W., Page, S. y Lahteenoja, O.** 2012. Peatlands of the Madre de Dios River of Peru: distribution, geomorphology, and habitat diversity. *Wetlands*, 15: 2311–2320.
- Ibassi Mahoungou, G.** 2018. *Variabilité pluviométrique en République du Congo: dynamique océanique et atmosphérique*. Editions Universitaires Européennes. 292 p.
- Ibassi Mahoungou, G., Pandi, A. y Ayissou L.** 2017. Extrêmes hydrologiques et variabilité décennale des précipitations saisonnières dans le bassin versant du fleuve Congo à Brazzaville (République du Congo). En: B.M. Mengho, ed. *Géographie du Congo*, pp. 207–223. París, L'Harmattan.
- IPBES.** 2018. *The IPBES assessment report on land degradation and restoration*. L. Montanarella, R. Scholes y A. Brainich, eds. Bonn, Alemania, Secretaría de la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES). 744 p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3237392>
- IUSS Working Group WRB.** 2015. *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos*. Informe sobre recursos mundiales de suelos N.º 106. Roma, FAO.
- Joosten, H., Tanneberger, F. y Moen, A., eds.** 2017. *Mires and peatlands of Europe – status, distribution and conservation*. Stuttgart, Alemania, Schweitzerbart Science Publishers.
- Kelly, T., Lawson, I.T., Roucoux, K.H., Baker, T.R., Jones, T.D. y Sanderson, N.K.** 2017. The vegetation history of an Amazonian domed peatland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 468: 129–141.
- Lähteenoja, O., Flores, B.M. y Nelson, B.W.** 2013. Tropical peat accumulation in Central Amazonia. *Wetlands*, 33: 495–503.
- Lähteenoja, O., Ruokolainen, K., Schulman, L. y Oinonen, M.** 2009. Amazonian peatlands: an ignored C sink and potential source. *Global Change Biology*, 15(9): 2311–2320.
- Le Quéré, C., Andrew, R.M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Hauck, J., Pongratz, J., Pickers, P.A., Korsbakken, J.I., et al.** 2018. Global carbon budget 2018. *Earth System Science Data*, 10: 2141–2194.
- Lindsay, R.A.** 1993. Peatland conservation – from cinders to Cinderella. *Biodiversity and Conservation*, 2: 528–540.
- Lindsay, R.A. y Clough, J.** 2017. United Kingdom. En: H. Joosten, F. Tanneberger y A. Moen, eds. *Mires and peatlands of Europe – Status, distribution and conservation*. Stuttgart, Alemania, Schweitzerbart Science Publishers.
- Page, S.E., Siebert, F., Rieley, J.O., Boehm, H-D.V., Jaya, A. y Limin, S.** 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature*, 420: 61–65.
- Page, S.E. y Hooijer, A.** 2016. In the line of fire: the peatlands of Southeast Asia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371.
- Peters, J. y von Unger, M.** 2017. *Peatlands in the EU regulatory environment*. BfN-Skripten 454. DOI 10.19217/skr454, Bonn, Alemania.
- Roucoux, K.H., Lawson, I.T., Jones, T.D., Baker, T.R., Honorio Coronado, E.D., Gosling, W.D. y Lähteenoja, O.** 2013. Vegetation development in an Amazonian peatland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 374: 242–255.
- Roucoux, K.H., Lawson, I.T., Baker, T.R., Del Castillo Torres, D., Draper, F.C., Lähteenoja, O., et al.** 2017. Threats to intact tropical peatlands and opportunities for their conservation. *Conservation Biology*, 31(6): 1283–1292.

- Scharlemann, J.P.W., Tanner, E.V.J., Hiederer, R. y Kapos, V.** 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5(1): 81–91.
- Schulz, C., Martín Brañas, M., Núñez Pérez, C., Del Águila Villacorta, M., Laurie, N., Lawson, I.T. y Roucoux, K.H.** 2019. Peatland and wetland ecosystems in Peruvian Amazonia: indigenous classifications and perspectives. *Ecology and Society*, 24(2): 12.
- Singleton, I. y van Schaik, C.P.** 2001. Orangutan home range size and its determinants in a Sumatran swamp forest. *International Journal of Primatology*, 22(6): 877–911.
- Tanneberger, F., Tegetmeyer, C., Busse, S., Barthelmes, A., Shumka, S., Moles Mariné, A., et al.** 2017. The peatland map of Europe. *Mires and Peat*, 19(22): 1–17 (disponible en [www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map19/map1922.php](http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map19/map1922.php)).
- Warren, M.W., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Anshari, G., Hergoualc'h, K., Kurnianto, S., et al.** 2012. A cost-efficient method to assess carbon stocks in tropical peat soil. *Biogeosciences*, 9: 4477–4485.
- Yu, Z., Loisel, J., Brosseau, D.P., Beilman, D.W. y Hunt, S.J.** 2010. Global peatland dynamics since the last glacial maximum. *Geophysical Research Letters*, 37, L13402. ◆

# Incendios, bosques y suministro de agua en ciudades

*D.W. Hallema, A.M. Kinoshita, D.A. Martin, F.-N. Robinne, M. Galleguillos, S.G. McNulty, G. Sun, K.K. Singh, R.S. Mordecai y P.F. Moore*

*El cambiante comportamiento del fuego en los paisajes forestales muestra la necesidad de un manejo forestal estratégico que permita salvaguardar el suministro de agua en entornos urbanos.*

**Dennis W. Hallema** (dwhallem@ncsu.edu) y **Ge Sun** son hidrólogos investigadores de la Estación de Investigación del Sur del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Carolina del Norte, Estados Unidos de América.

**Alicia M. Kinoshita** es profesora asociada del departamento de Ingeniería de Recursos Hídricos de la universidad San Diego State University, California, Estados Unidos de América.

**Deborah A. Martin** es hidróloga investigadora emérita del Servicio Geológico de los Estados Unidos (retirada), Boulder, Colorado, Estados Unidos de América.

**François-Nicolas Robinne** es becario postdoctoral en la Universidad de Alberta, Edmonton, Alberta, Canadá.

**Mauricio Galleguillos** es profesor adjunto de la Universidad de Chile, Santiago, Chile.

**Steven G. McNulty** es director del Centro Climático Regional del Sudeste del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Carolina del Norte, Estados Unidos de América.

**Kunwar K. Singh** es investigador (becario) de la universidad North Carolina State University, Raleigh, Carolina del Norte, Estados Unidos de América.

**Rua S. Mordecai** es coordinador de Ciencias del Servicio Federal de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos en Raleigh, Carolina del Norte.

**Peter F. Moore** es oficial forestal del Departamento Forestal de la FAO en Roma, Italia.

Los paisajes forestales generan el 57 % de la escorrentía de todo el mundo y suministran agua a más de 4 000 millones de personas (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). Dado que la población mundial continúa aumentando, existe una gran necesidad de comprender la forma en que los procesos forestales se vinculan en cascada para proporcionar a la población servicios hídricos como energía hidroeléctrica, acuicultura, agua potable y protección contra inundaciones (Carvalho-Santos *et al.*, 2014).

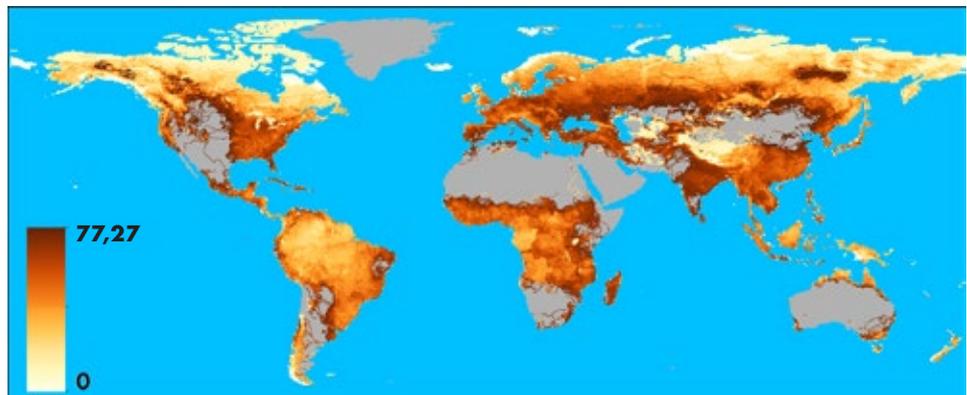
Los incendios forestales constituyen una de las principales alteraciones que afectan

***Los incendios controlados promueven la salud de los bosques debido a que limpian los materiales combustibles y fomentan el crecimiento de los árboles, lo que aporta beneficios indirectos para la calidad de los recursos hídricos forestales***



© DENNIS HALLEMA, ESTACION DE INVESTIGACION DEL SUR DEL SERVICIO FORESTAL DEL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS.

1  
**Riesgo mundial de incendios forestales para la seguridad del agua en función de actividad ignea, vegetación, geografía, disponibilidad de agua y desarrollo socioeconómico**



*Nota:* El riesgo de incendios forestales para la seguridad del agua se muestra en una escala de 0 (riesgo mínimo) a 100 (potencial de riesgo teórico máximo).

*Fuente:* Robinne *et al.* (2018), utilizado aquí según la licencia CC BY 4.0.

a las cuencas hidrográficas boscosas y al agua que proporcionan (Recuadro 1) (Paton *et al.*, 2015). Varias regiones han experimentado cambios en el origen de los incendios forestales, que han pasado de iniciarse con una ignición natural (fundamentalmente rayos) a originarse con una ignición donde predomina la actividad humana, especialmente en zonas donde la población va en aumento (Moritz *et al.*, 2014; Balch *et al.*, 2017). Los incendios forestales ocasionales resultan esenciales para la salud y el funcionamiento de los ecosistemas adaptados al fuego debido a sus efectos sobre el ciclo de nutrientes, la diversidad y regeneración de plantas, y la regulación de plagas (Pausas y Keeley, 2019). También reducen el riesgo de que se produzcan incendios posteriores hasta que

los bosques hayan acumulado combustibles suficientes y las condiciones sean propicias para otro incendio.

Por otra parte, los incendios forestales extremos y peligrosos pueden causar erosión, formación de zanjas, pérdida de suelos e inundaciones y, en casos graves, incluso deslizamientos de escombros e inundaciones repentinas, dado que eliminan las funciones protectoras de los bosques en las laderas montañosas (Ebel y Moody, 2017). Los incendios forestales extremos se han vuelto más comunes después de varias décadas de extinguir el fuego, lo que permitió que la vegetación de los bosques se volviera mucho más densa y que se acumularan más combustibles con el paso del tiempo. Esto último, combinado con la creciente sequía estival, puede

repercutir en el rendimiento del agua y en la capacidad de los bosques aguas arriba de proporcionar agua de gran calidad debido a que la vegetación forestal utiliza menos agua inmediatamente después de un incendio, y en entornos donde hay presencia de nieve puede llevar a que se acumule más nieve en los claros del bosque (Kinoshita y Hogue, 2015; Hallema *et al.*, 2019). Por lo tanto, el análisis del impacto de los incendios forestales en la planificación del agua se ha convertido en una prioridad para el nexo entre fuego, agua y sociedad o, en otras palabras, la conexión entre el riesgo de incendios y la seguridad del agua, (Gráfico 1) (Martin, 2016). En el presente artículo se aborda el tema de los paisajes forestales gestionados como soluciones basadas en la naturaleza para el agua y se

### Recuadro 1 Datos clave sobre incendios y recursos hídricos forestales

- Durante el período 2003–2016 se quemó un promedio anual de 400 millones de hectáreas de tierra en todo el mundo, de las cuales se estima que 19 millones de hectáreas por año correspondían a bosques (Melchiorre y Boschetti, 2018).
- Los bosques tropicales representan la mayor proporción de área forestal quemada (65,9 % entre 2003 y 2016) (Melchiorre y Boschetti, 2018).
- Los incendios forestales en los Estados Unidos de América tienen como resultado hasta un 10 % más de agua superficial anualmente y entre un 10 y un 50 % más en regiones que registran incendios forestales severos (Hallema *et al.*, 2019; Kinoshita y Hogue, 2015).
- El 90 % de las ciudades del mundo con poblaciones que superan las 750 000 personas emplea agua proveniente de cuencas forestales. Sin embargo, 9 de cada 10 de estas cuencas muestran signos de degradación de la calidad del agua (McDonald *et al.*, 2016).
- Las quemadas controladas (también llamadas incendios prescritos) limpian la vegetación muerta y reducen la probabilidad de que se produzcan incendios forestales extremos que puedan contaminar los suministros de agua de los bosques. Los estudios muestran que, a diferencia de los incendios forestales, las quemadas controladas no degradan la calidad del agua (Fernandes *et al.*, 2013).

analiza la forma en que el fuego afecta la provisión de servicios hídricos.

### SERVICIOS HÍDRICOS DERIVADOS DE LOS BOSQUES

En muchas zonas, nadar en un río, preparar alimentos y regar el jardín tienen algo en común: dependen de los servicios hídricos que proveen los bosques ubicados aguas arriba (Sun, Hallema y Asbjornsen, 2018). Los servicios de los ecosistemas acuáticos, también llamados servicios hidrológicos, brindan una gama de beneficios directos e indirectos, además de valores asociados. La mayoría de los servicios hidrológicos forestales, como la generación de energía hidroeléctrica, el enfriamiento de centrales eléctricas, el riego, la acuicultura y la mitigación de inundaciones, puede expresarse en términos de valor de mercado. Sin embargo, algunos servicios tienen valores intrínsecos que responden al mercado, como la calidad y la biodiversidad del ecosistema acuático, o aportan beneficios a la sociedad que no son fáciles de cuantificar, como, por ejemplo, oportunidades de recreación, conexión religiosa y regocijo estético (Hallema, Robinne y Bladon, 2018).

En condiciones adecuadas, los bosques pueden suministrar agua potable de alta calidad con un tratamiento mínimo. Una parte sustancial del costo del suministro de agua se asocia generalmente a la purificación de dicho recurso (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). El suministro de agua superficial proveniente de bosques inalterados que producen agua de alta calidad generalmente tiene costos de tratamiento menores que los del agua proveniente de otras fuentes (García Chevesich *et al.*, 2017).

Es fácil dar por sentado el suministro de agua limpia cuando se dispone de dicho recurso en abundancia. Sin embargo, casi todas las cuencas hidrográficas forestales están sujetas a algún grado de actividad humana, y la escasez y el deterioro del agua alcanzan grandes proporciones. Se estima que el 82 % de la población mundial emplea agua proveniente de zonas ubicadas

aguas arriba que se encuentran seriamente amenazadas (Green *et al.*, 2015). Los esfuerzos de recuperación y purificación destinados a salvaguardar la calidad del agua benefician al 75 % de la población; no obstante, estos beneficios se distribuyen de manera desigual: los países industriales reducen los peligros que amenazan al agua dulce en un 50-70 %, mientras que los países con un producto interno bruto menor los reducen en menos de un 20 % (Green *et al.*, 2015).

Esta disparidad se vincula no solo a factores políticos y económicos, sino también al grado de urbanización. Es probable que los centros urbanos de rápido crecimiento que dependen del agua experimenten un mayor riesgo de deterioro en la calidad de la misma debido a alteraciones localizadas aguas arriba. En general, la disminución continua de la calidad del agua es preocupante, dadas las tendencias aceleradas en la urbanización y en la demanda de dicho recurso (Sun, Hallema y Asbjornsen, 2017), y se plantea el interrogante de cómo reducir el costo de proteger las cuencas y recargar el acuífero (Muñoz-Piña *et al.*, 2008). En algunos casos, la restauración forestal podría conducir a un aumento en el suministro de agua a largo plazo, incluso si no apunta específicamente a los servicios relacionados con el agua (Recuadro 2).

### IMPACTO DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN EL SUMINISTRO DE AGUA

Aunque los incendios forestales tienen efectos beneficiosos sobre los paisajes forestales, el resultado puede ser muy diferente en el caso de los incendios forestales extremos que consumen por completo las masas forestales, incluidas las copas de los árboles. Los incendios forestales tienden a aumentar la escorrentía superficial originada por las tormentas durante los meses posteriores a un incendio y el rendimiento del agua de los paisajes quemados durante varios años (Kinoshita y Hogue, 2011; Kinoshita y Hogue, 2015; Hallema *et al.*, 2017b; Hallema *et al.*, 2018). También tienen un profundo impacto en las funciones

de purificación del agua de las cuencas hidrográficas al cambiar las pautas temporales y las vías de movimiento del recurso hídrico a través de los paisajes, y al aumentar la presencia de materiales fácilmente transportables, como las cenizas de los incendios forestales (Hallema *et al.*, 2017a; Murphy *et al.*, 2018). Las cenizas de los incendios forestales contienen trazas de metales, nutrientes y material orgánico de ramas, hojas y acículas que pueden comprometer el tratamiento del agua para uso doméstico. Las precipitaciones impulsan el transporte de agentes contaminantes, cenizas y tierra erosionada cuesta abajo, lo que ocasiona pulsos de aumento en los niveles de los cursos de agua inmediatamente después de las tormentas (Ice, Neary y Adams, 2004).

Los incendios forestales graves, combinados con la pérdida de vegetación ribereña y con el aumento de la carga de sedimentos en los cursos de agua, degradan el hábitat acuático y afectan la pesca, que proporciona servicios hidrológicos importantes y cumple funciones económicas vitales en muchas partes del mundo. En el ámbito local, el aumento de la temperatura de los cursos de agua y la toxicidad de las cenizas, los agentes ignífugos y los sedimentos contaminados son causas directas de la mortalidad de peces y otros organismos acuáticos (Dunham *et al.*, 2007).

La escorrentía superficial degradada puede dirigirse hacia los depósitos de almacenamiento y tomas de agua, a menudo ubicados a distancias considerables aguas abajo de las cuencas hidrográficas quemadas. Por ejemplo, la escorrentía que se desplazó tras el incendio ocurrido en 1996 en Buffalo Creek en Colorado, Estados Unidos de América, recorrió más de 15 km desde la zona incendiada hasta un embalse ubicado aguas abajo (Moody y Martin, 2001). Los desechos flotantes obstruyen las tomas de agua y los equipos de generación hidroeléctrica, los sedimentos reducen la capacidad de los embalses para almacenar agua, y la adsorción de nutrientes como el fósforo puede propiciar el crecimiento de algas (Smith *et al.*, 2011). Estudios

## Recuadro 2

### La restauración de pinos de hoja larga aumenta el suministro de agua superficial de la cuenca del río Altamaha en Georgia, Estados Unidos de América

En los últimos siglos, la cobertura de pinos de hoja larga (*Pinus palustris*) de la región sureste de la llanura costera de los Estados Unidos se redujo de 372 000 km<sup>2</sup> a 17 000 km<sup>2</sup> debido a la conversión agrícola y a la sustitución por plantaciones de pinos taeda (*Pinus taeda*). El bosque natural de pinos de hoja larga crece en forma de sabana, con menor evapotranspiración, menor demanda de agua y mayor tolerancia a la sequía que el bosque de pinos taeda, de mayor densidad. A fin de evaluar los posibles impactos de la restauración de pinos de hoja larga en las características del agua, simulamos la cuenca de 36 670 km<sup>2</sup> del río Altamaha para el período 1981–2010, utilizando el Instrumento de evaluación de suelos y agua. Comparamos los balances hídricos correspondientes a la situación existente de uso mixto de la tierra (34,3 % de bosque perenne, 23,5 % de tierras de cultivo, 22,1 % de bosque caducifolio, 11,6 % de bosque de humedales y 8,5 % de uso urbano) con una situación hipotética en la que todas las tierras de cultivo se convertían en bosques de pino taeda (máximo índice de área foliar estacional = 5,0; Sampson *et al.*, 2011) y con otra situación hipotética en la que todas las tierras de cultivo se convertían en sabana de pino de hoja larga abierta (índice de área foliar = 2,0; Kao *et al.*, 2012). La situación de uso mixto de la tierra y las situaciones hipotéticas de pino taeda y de pino de hoja larga proporcionaron 486 mm, 430 mm (-11,4 %) y 498 mm (+2,6 %) de rendimiento de agua, respectivamente, para una precipitación anual promedio de 1 185 mm. La evapotranspiración fue de 671 mm (referencia), 729 mm (+8,6 %) y 658 mm (-2,0 %), respectivamente. Dada la disminución de las precipitaciones anuales y el aumento de la sequía durante el verano en la región sureste de los Estados Unidos, si se tuviera como objetivo principal de manejo de la tierra la restauración de pinos de hoja larga, combinada con una quema prescrita, ello tendría un impacto positivo en el suministro de agua superficial.



© DENNIS HALEMA, ESTACIÓN DE INVESTIGACIÓN DEL SUR DEL SERVICIO FORESTAL DE LOS E.U.S.A.  
La sabana natural de pinos de hoja larga del sureste de los Estados Unidos tiene un dosel abierto y no consume tanta agua como los bosques de pino taeda, de vegetación mucho más densa



© BRIAN BROWN, VANISHING SOUTH GEORGIA  
Las iniciativas de restauración de los bosques aguas arriba tienen el potencial de aumentar el curso del río Altamaha en Georgia, Estados Unidos

realizados en Australia y Chile han revelado que el agua afectada por el fuego contiene sustancias químicas disueltas y sedimentos en suspensión que afectan los procesos de tratamiento del suministro municipal de agua y tienen el potencial de afectar la salud humana (White *et al.*, 2006; Odigie *et al.*, 2016) (Recuadro 3). Las medidas para restaurar la infraestructura de suministro de agua después de los incendios forestales y de las inundaciones posteriores a dichos incendios, como la

eliminación de sedimentos de los embalses, la reparación de tuberías, bombas y equipos de filtración, y la estabilización de riberas y laderas, pueden costar millones de dólares (Recuadro 4).

#### UN RÉGIMEN ÍGNEO SALUDABLE PARA TENER UN SUMINISTRO DE AGUA Y BOSQUES SOSTENIBLES

Los bosques son resilientes y a menudo se benefician de la presencia del fuego, que promueve un nuevo crecimiento y

la diversidad de especies, al tiempo que aumenta su capacidad natural para mejorar la calidad del agua mediante la filtración del suelo. Con el tiempo, los bosques que sufrieron incendios forestales extremos recuperan la capacidad de proporcionar agua limpia, pero el proceso puede llevar muchos años (Robichaud *et al.*, 2009). La planificación y el manejo forestal sostenibles pueden mitigar los impactos adversos de los incendios forestales extremos y, al mismo tiempo, ayudar a mantener la salud

de los bosques y salvaguardar los servicios hídricos forestales (Postel y Thompson, 2005). Un régimen ígneo saludable es la piedra angular de un bosque sostenible y, por ende, de un suministro de agua sostenible. Al promoverse el uso de incendios prescritos en las cuencas hidrográficas se puede reducir la probabilidad de que se produzcan incendios forestales extremos con la consiguiente contaminación del suministro de agua forestal (Boisramé *et al.*, 2017).

Dadas las predicciones de aumento de la frecuencia, la intensidad y las dimensiones de los incendios forestales en los futuros regímenes climáticos vinculados al aumento de la sequía, los científicos, las autoridades normativas y los gestores deben coordinar sus esfuerzos en la preparación contra incendios (sistemas de detección), la planificación del impacto de los incendios y la evaluación de los riesgos posteriores a los incendios para anticipar posibles impactos en el agua. Es esencial lograr una buena comprensión de las tendencias, los impactos y las interacciones ambientales del fuego a fin de mantener la resiliencia de los suministros de agua de los bosques (Kinoshita *et al.*, 2016; Hallema *et al.*, 2019).

La confiabilidad de los suministros de agua en el futuro también depende de la estructura de los bosques y de la composición vegetativa, así como de sus interacciones con los procesos del ecosistema (Thompson *et al.*, 2013). La creciente variabilidad de la temperatura del aire, las precipitaciones, el uso de la tierra y la deposición química (nitrógeno y azufre) crean combinaciones de estrés ecosistémico sin precedentes (McNulty, Boggs y Sun, 2014), que pueden ocasionar cambios en los regímenes ígneos y en los ciclos de agua, y son difíciles de predecir. Por ejemplo, en la Provincia del Cabo, Sudáfrica, la introducción de acacias, eucaliptos y pinos que no son autóctonos ha aumentado la carga de combustibles, lo que aumenta el riesgo de incendios (Kraaij *et al.*, 2018) y la posibilidad de que se produzcan efectos

### Recuadro 3

#### La erosión posterior a los incendios forestales en Chile y la preocupación por el suministro de agua

La región centro-sur de Chile experimentó grandes incendios forestales en 2017 que quemaron más de 5 000 km<sup>2</sup>. La combinación de una temporada de primavera con temperaturas inusualmente altas, sumada a una sequía prolongada (Garreaud *et al.*, 2017), desencadenó una serie de tormentas de fuego. Aproximadamente la mitad de estos incendios ocurrió en plantaciones de pino de la variedad *Pinus radiata*, y la mayoría fue originada por el hombre. Además de los efectos devastadores sobre la población humana y la economía regional, existen serias preocupaciones por la biodiversidad, dado que algunas zonas quemadas ya se encuentran en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza como ecosistemas en peligro crítico de colapso (Alaniz, Galleguillos y Pérez-Quezada, 2016). Los incendios forestales de 2017 han aumentado las tasas de erosión e incluso han eliminado toda la capa vegetal del suelo en algunas áreas. Esto ha llevado a la compactación de las capas inferiores del suelo, ahora expuestas debido al efecto combinado de los ciclos de rotación forestal relativamente cortos (de tan solo 20 años entre cosechas) y a la mayor fuerza de impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo, que ha quedado desprotegida y sin vegetación (Soto *et al.*, 2019). El fenómeno ha alcanzado una etapa en la que ya no hay más sedimentos sueltos para la erosión, y el suelo ha quedado muy diezclado. Los preocupantes impactos de los incendios forestales ocurridos en Chile muestran que urge integrar los problemas relacionados con el agua al manejo forestal sostenible. También demuestran la necesidad de investigar más cabalmente los problemas de drenaje posteriores a un incendio, así como las sustancias químicas disueltas y los sedimentos en suspensión que afectan los procesos de tratamiento de los suministros de agua municipales (Odigie *et al.*, 2016).



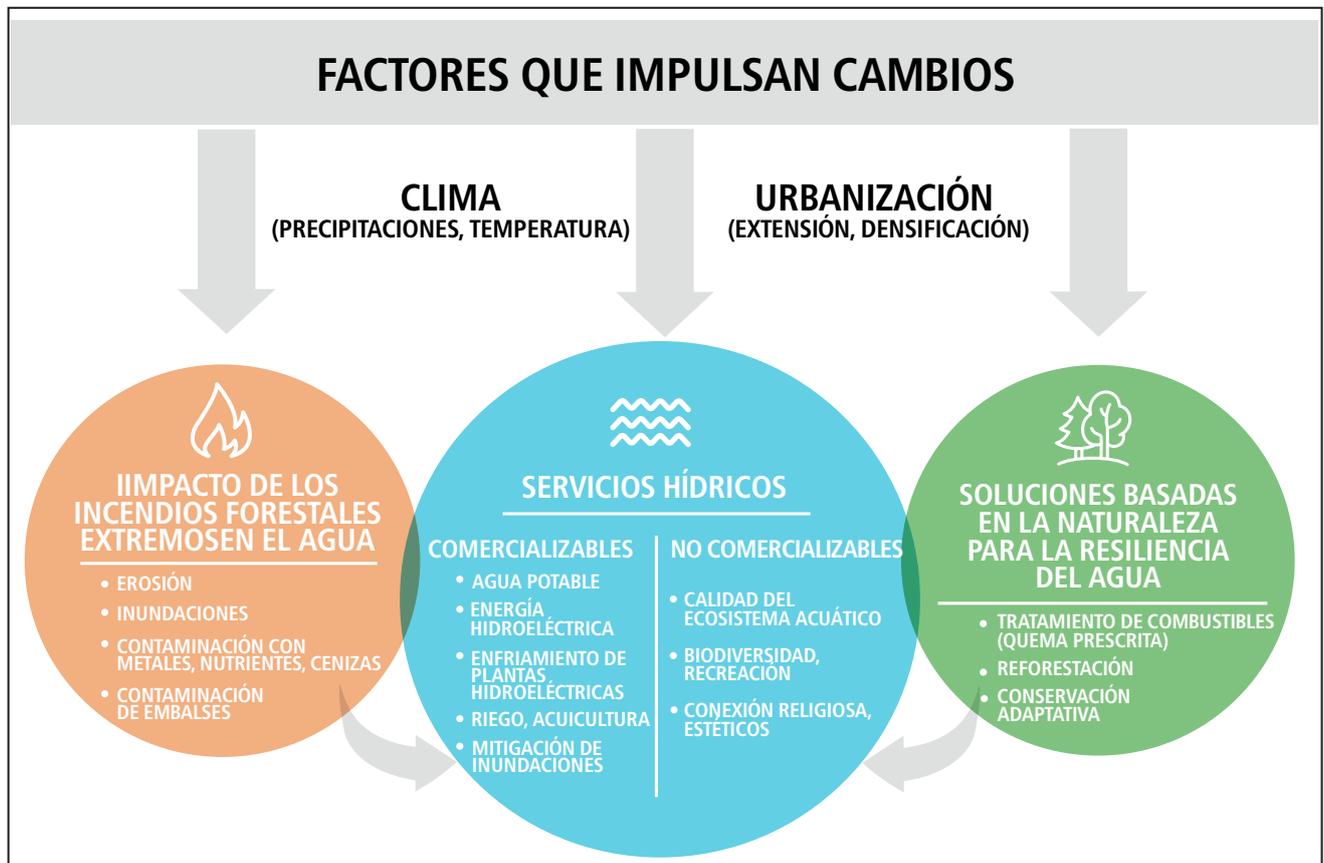
© MAURICIO GALLEGUILLOS, UNIVERSIDAD DE CHILE

**Las intensas tormentas de fuego ocurridas en el centro-sur de Chile en 2017 causaron una enorme pérdida de la cubierta forestal de *Pinus radiata***

negativos en la calidad del agua luego de un incendio.

En última instancia, el aumento de la frecuencia y la gravedad de los incendios afecta la calidad y cantidad de los recursos

hídricos forestales a gran escala (Robinne *et al.*, 2016). Dado que la ocurrencia, la magnitud y la interacción de los incendios forestales, las sequías y las invasiones de insectos continúan cambiando, cabe



**2**  
**Los incendios forestales pueden afectar seriamente los servicios relacionados con el agua, pero gran parte de este impacto puede mitigarse mediante el tratamiento de combustibles y otras prácticas de manejo forestal.**

esperar alteraciones adicionales en la estructura y función de los bosques. Es necesario continuar investigando para comprender mejor los precursores de estos hechos sin precedentes con el fin de permitir que las autoridades que tienen a su cargo la gestión de tierras desarrollen y apliquen prácticas de conservación adaptativas destinadas a aumentar la resiliencia hidrológica frente a las alteraciones de los bosques.

#### **SALVAGUARDAR LOS RECURSOS HÍDRICOS FUTUROS**

El hecho de considerar el nexo entre fuego, agua y sociedad como un proceso dinámico ayuda a los científicos, gestores de tierras y proveedores de agua a identificar problemas prioritarios. La importancia de esta interacción dinámica se refleja en el

tema de investigación decenal (2013–2022) de la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas Panta Rhei («todo fluye»). Las alteraciones forestales se acumulan aguas abajo y, por lo tanto, el futuro de los recursos hídricos es la suma inevitable de los impactos naturales y humanos, y sus interacciones y retroalimentación.

La calidad de las predicciones sobre el suministro de agua depende en gran medida de la calidad de los datos y modelos. La gran cantidad de datos satelitales sobre incendios forestales, clima e inventarios forestales recopilados en los últimos años ha permitido la creación de modelos predictivos sobre el impacto de los incendios sobre el agua. Sin embargo, existen pocos datos acerca de la calidad del agua luego de que se produce un incendio, y los modelos predictivos dependen de

los datos del suelo para su validación, lo cual a menudo representa un desafío para los países en desarrollo. Si bien el aumento en la resolución de los datos espectrales y temporales constituye un avance bienvenido, los científicos necesitan una mayor capacitación en el uso de estos datos para predecir la eficacia de las soluciones basadas en la naturaleza en el caso del agua (Robinne *et al.*, 2018), y deberían integrar una comprensión más cabal de las interacciones entre incendios forestales, reforestación/forestación, y la oferta y demanda de servicios hidrológicos (Recuadro 5).

La ampliación del área de estudio de la escala local a la regional tiene implicaciones muy importantes para la cantidad de interacciones que deben tenerse en cuenta. Al cuantificar el riesgo de incendios para

#### **Recuadro 4**

### **Degradación de la calidad del agua luego de los incendios forestales en los sistemas urbanos de abastecimiento de agua en California**

El estado de California, Estados Unidos de América, experimenta un aumento del riesgo de incendios debido a la existencia de condiciones climáticas más cálidas y secas. Sin embargo, el desarrollo urbano continúa invadiendo las tierras silvestres circundantes, lo que expone a los residentes a un mayor riesgo de incendios primarios y secundarios. Los incendios forestales ocurridos en la zona de North Bay en la Bahía de San Francisco en octubre de 2017 provocaron 46 muertes y la pérdida de miles de estructuras. Estos incendios extremos, también conocidos como la Tormenta de fuego del norte de California, fueron uno de los desastres más costosos para el estado. Uno de los episodios, el incendio de Tubbs, dañó el sistema de agua potable al provocar niveles elevados de benceno y la presencia de otros agentes contaminantes que llevaron a emitir una advertencia a la población local de «no beber/no hervir» agua, advertencia que se debió mantener hasta un año después del incendio. En el norte de California, el agua potable de la ciudad de Paradise se contaminó con benceno después del incendio *Camp Fire* en 2018, al filtrarse plásticos quemados, hollín y cenizas en el sistema de agua. Se estima que podría llevar dos años y requerirse 300 millones de dólares para restaurar la calidad del agua del sistema. Estos ejemplos destacan los impactos perjudiciales de los grandes incendios forestales en la calidad del agua y demuestran la necesidad de proteger el agua potable frente a futuros incendios forestales.



© ZACK MONDRY, SERVICIO FORESTAL DE L'USDA

***Un grave incendio forestal en California destruyó gran parte de la vegetación chaparral, lo que causó erosión y un aumento del ingreso de sedimentos en las aguas superficiales***

la seguridad del agua es necesario, por ejemplo, identificar los bosques que están «en riesgo» allí donde se necesita una gestión activa para salvaguardar el suministro de agua y la salud pública. Esto requiere de la participación de gestores forestales, hidrólogos, científicos especializados en incendios forestales, especialistas en salud pública y el público en general. También es necesario cuantificar la contaminación del agua proveniente de fuentes antropogénicas quemadas, como plásticos, gases y telas, cuando las zonas urbanizadas se ven

devoradas por el fuego. El desafío es que cada incendio tiene circunstancias únicas, y los datos sobre el terreno son escasos.

La tendencia de aumento de la urbanización conducirá a una mayor deforestación e incrementará la presión sobre los servicios hidrológicos forestales. Para el año 2050, se prevé que dos tercios de la población mundial residirán en zonas urbanas, y la mayor parte del crecimiento se concentrará en África, Asia, América Latina y el Caribe (ONU Hábitat, 2018). Asimismo, se prevé que el área de tierra cubierta por

las ciudades se triplicará, y se espera que aumentará la cantidad de personas que se mudarán a la zona de transición entre bosques y zonas urbanas.

La conclusión es que los impactos de los incendios forestales en el suministro y la calidad del agua continuarán extendiéndose mucho más allá de los límites del bosque y afectarán directamente a los servicios hidrológicos forestales de las personas que viven aguas abajo. En última instancia, es necesario comprender mejor los impactos y las interacciones regionales

### Recuadro 5

#### Programa «Grain-for-Green» de China: mejorar la calidad del agua a través de la forestación y la restauración forestal

Las imágenes satelitales muestran que China se está volviendo más verde después de años de esfuerzos de forestación y protección forestal. El objetivo del Programa de Conversión de Tierras Agrícolas a Bosques, también llamado «Grain-for-Green» (el mayor sistema de pagos por servicios ecosistémicos del mundo), es combatir la erosión del suelo y mejorar el entorno rural. La forestación (plantar árboles en lugares donde anteriormente no existía ningún bosque) es una de sus actividades principales financiadas a través de un sistema de pagos públicos que involucra a millones de hogares rurales (Lü *et al.*, 2012). El control de sedimentos en el río Yangtze y en otros lugares demuestra que, a partir del inicio del Programa de Conversión de Tierras Agrícolas a Bosques en 1999 y del Programa de Protección de Bosques Naturales en 1998, se redujo la carga de sedimentos, lo cual ha tenido un efecto positivo en la calidad del agua potable (Zhou *et al.*, 2017; Mo, 2007). Sin embargo, preocupa el hecho de que la forestación con especies arbóreas no autóctonas consume demasiada agua y provoca la desecación del suelo (Deng *et al.*, 2016), lo que, a modo de ejemplo, podría llevar a reducir los niveles hídricos en el río Amarillo, algo que tendría graves consecuencias para el suministro aguas abajo. Adicionalmente, la planificación forestal en China rara vez ha considerado la quema prescrita como una herramienta de manejo y, en vez de ello, favorece la extinción del fuego. Es sumamente necesario efectuar el seguimiento de los incendios y predecir su posible impacto sobre los servicios hídricos para asegurar la rentabilidad de los esfuerzos de restauración forestal (Cao *et al.*, 2011).



© STACIE WOJNY, UNIVERSIDAD DE STANFORD

**La restauración forestal en la cuenca del río Perla en el sur de China ha reducido la erosión, lo que ha redundado en una mayor calidad del agua en los ríos**

de los incendios para lograr un avance en la formulación de estrategias para controlar el fuego y el agua que sean eficaces en función de los costos.

#### AGRADECIMIENTOS Y EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

Dennis W. Hallema recibió apoyo del Programa de Participación en Investigación del Servicio Forestal administrado por el *Oak Ridge Institute for Science and Education (ORISE)* a través de un acuerdo interinstitucional entre el Departamento de Energía de los Estados Unidos y el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. ORISE es administrado por *Oak Ridge Associated Universities (ORAU)*, de conformidad con el contrato DE-AC05-06OR23100 del Departamento de Energía de los Estados Unidos. El Servicio de Conservación del Paisaje del Atlántico Sur aportó fondos a través de un acuerdo interinstitucional entre el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de dicho país. Las opiniones, hallazgos, conclusiones o recomendaciones expresadas en este artículo pertenecen a sus autores y no necesariamente reflejan las políticas y los puntos de vista del Gobierno de los Estados Unidos de América. El uso de cualquier nombre comercial, empresarial o de productos en el presente artículo se hace únicamente con fines descriptivos y no implica el aval del Gobierno de los Estados Unidos de América. ♦



#### Referencias

- Alaniz, A.J., Galleguillos, M. y Pérez-Quezada, J.F. 2016.** Assessment of quality of input data used to classify ecosystems according to the IUCN Red List methodology: the case of the central Chile hotspot. *Biological Conservation*, 204: 378–385.
- Balch, J.K., Bradley, B.A., Abatzoglou, J.T., Nagy, R.C., Fusco, E.J. y Mahood, A.J. 2017.** Human-started wildfires expand the fire niche across the United States. *PNAS*, 114(11): 2946–2951. doi:10.1073/pnas.1617394114
- Boisramé, G., Thompson, S., Collins, B. y Stephens, S. 2017.** Managed wildfire effects on forest resilience and water in the Sierra Nevada. *Ecosystems*, 20(4): 717–732.
- Cao, S., Sun, G., Zhang, Z., Chen, L., Feng, Q., Fu, B., McNulty, S.G., Shankman, D., Tang, J., Wang, Y. y Wei, X. 2011.** Greening China naturally. *Ambio*, 40(7): 828–831.
- Carvalho-Santos, C., Honrado, J. P. y Hein, L. 2014.** Hydrological services and the role of forests: conceptualization and indicator-based analysis with an illustration at a regional scale. *Ecological Complexity*, 20: 69–80.
- Deng, L., Yan, W., Zhang, Y. y Shangguan, Z. 2016.** Severe depletion of soil moisture following land-use changes for ecological restoration: evidence from northern China. *Forest Ecology and Management*, 366: 1–10.
- Dunham, J.B., Rosenberger, A.E., Luce, C.H. y Rieman, B.E. 2007.** Influences of wildfire and channel reorganization on spatial and temporal variation in stream temperature and the distribution of fish and amphibians. *Ecosystems*, 10(2): 335–346.
- Ebel, B.A. y Moody, J.A. 2017.** Synthesis of soil-hydraulic properties and infiltration timescales in wildfire-affected soils. *Hydrological Processes*, 31(2): 324–340.
- EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). 2018.** *2018 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories Tables*. Washington, DC, Oficina del Agua, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. 12 p.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. 2005.** *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC, Island Press. 155 p.
- Fernandes, P.M., Davies, G.M., Ascoli, D., Fernández, C., Moreira, F., Rigolot, E., Stoof, C.R., Vega, J.A. y Molina, D. 2013.** Prescribed burning in southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(s1): e4–e14.
- García Chevesich, P., Neary, D.G., Scott, D.F., Benyon, R.G. y Reyna, T. 2017.** *Forest management and the impact on water resources: a review of 13 countries*. UNESCO Publishing.
- Garreaud, R.D., Álvarez-Garreton, C., Barichivich, J., Boisier, J.P., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J. y Zambrano-Bigiarini, M. 2017.** The 2010–2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology & Earth System Sciences*, 21(12): 6307–6327.
- Green, P.A., Vörösmarty, C.J., Harrison, I., Farrell, T., Sáenz, L. y Fekete, B.M. 2015.** Freshwater ecosystem services supporting humans: pivoting from water crisis to water solutions. *Global Environmental Change*, 34: 108–118.
- Hallema, D.W., Robinne, F.-N. y Bladon, K.D. 2018.** Reframing the challenge of global wildfire threats to water supplies. *Earth's Future*, 6(6): 772–776.
- Hallema, D.W., Sun, G., Bladon, K.D., Norman, S.P., Caldwell, P.V., Liu, Y. y McNulty, S.G. 2017a.** Regional patterns of post-wildfire streamflow in the western United States: the importance of scale-specific connectivity. *Hydrological Processes*, 31(14): 2582–2598.
- Hallema, D.W., Sun, G., Caldwell, P.V., Norman, S.P., Cohen, E.C., Liu, Y.Q., Ward, E.J. y McNulty, S.G. 2017b.** Assessment of wildland fire impacts on watershed annual water yield: Analytical framework and case studies in the United States. *Ecology*, 98(2): 20.
- Hallema, D.W., Sun, G., Caldwell, P.V., Norman, S.P., Cohen, E.C., Liu, Y., Bladon, K.D. y McNulty, S.G. 2018.** Burned forests impact water supplies. *Nature Communications*, 9(1): 1307.
- Hallema, D.W., Sun, G., Caldwell, P.V., Robinne, F.-N., Bladon, K.D., Norman, S.P., Liu, Y., Cohen, E.C. y McNulty, S.G. 2019.** *Wildland fire impacts on water yield across the contiguous United States*. Gen. Tech. Rep. SRS-238. Asheville, Estados Unidos.

- Unidos, Estación de Investigación del Sur del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 109 p.
- Ice, G.G., Neary, D.G. y Adams, P.W.** 2004. Effects of wildfire on soils and watershed processes. *Journal of Forestry*, 102(6): 16–20.
- Kao, R.H., Gibson, C.M., Gallery, R.E., Meier, C.L., Barnett, D.T., Docherty, K.M., et al.** 2012. NEON terrestrial field observations: designing continental-scale, standardized sampling. *Ecosphere*, 3(12): 1–17.
- Kinoshita, A.M., Chin, A., Simon, G.L., Briles, C., Hogue, T.S., O'Dowd, A.P., Gerlak, A.K. y Albornoz, A.U.** 2016. Wildfire, water, and society: toward integrative research in the «Anthropocene». *Anthropocene*, 16: 16–27.
- Kinoshita, A.M. y Hogue, T.S.** 2011. Spatial and temporal controls on post-fire hydrologic recovery in Southern California watersheds. *Catena*, 87(2): 240–252.
- Kinoshita, A.M. y Hogue, T.S.** 2015. Increased dry season water yield in burned watersheds in Southern California. *Environmental Research Letters*, 10(1): 014003.
- Kraaij, T., Baard, J.A., Arndt, J., Vhengani, L. y van Wilgen, B.W.** 2018. An assessment of climate, weather, and fuel factors influencing a large, destructive wildfire in the Knysna region, South Africa. *Fire Ecology*, 14(4).
- Lü, Y., Fu, B., Feng, X., Zeng, Y., Liu, Y., Chang, R., Sun, G. y Wu, B.** 2012. A policy-driven large scale ecological restoration: quantifying ecosystem services changes in the Loess Plateau of China. *PLoS ONE*, 7(2): e31782.
- Martin, D.A.** 2016. At the nexus of fire, water and society. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1696): 20150172.
- McDonald, R.I., Weber, K.F., Padowski, J., Boucher, T. y Shemie, D.** 2016. Estimating watershed degradation over the last century and its impact on water-treatment costs for the world's large cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(32): 9117–9122.
- McNulty, S.G., Boggs, J.L. y Sun, G.** 2014. The rise of the mediocre forest: why chronically stressed trees may better survive extreme episodic climate variability. *New Forests*, 45(3): 403–415.
- Melchiorre, A. y Boschetti, L.** 2018. Global analysis of burned area persistence time with MODIS data. *Remote Sensing*, 10(5): 750.
- Mo, Z.** 2007. Facilitating reforestation for Guangxi watershed management in Pearl River Basin Project. Comité Asesor de la FAO sobre el Papel y los Productos Madereros, 48.º sesión, Shanghái, China, 6 de junio de 2007.
- Moody, J.A. y Martin, D.A.** 2001. Initial hydrologic and geomorphic response following a wildfire in the Colorado Front Range. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(10): 1049–1070.
- Moritz, M.A., Batllori, E., Bradstock, R.A., Gill, A.M., Handmer, J., Hessburg, P.F., Leonard, J., McCaffrey, S., Odion, D.C., Schoennagel, T. y Syphard, A.D.** 2014. Learning to coexist with wildfire. *Nature*, 515(7525): 58.
- Muñoz-Piña, C., Guevara, A., Torres, J.M. y Braña, J.** 2008. Paying for the hydrological services of Mexico's forests: analysis, negotiations and results. *Ecological Economics*, 65(4): 725–736.
- Murphy, S.F., McCleskey, R.B., Martin, D.A., Writer, J.H. y Ebel, B.A.** 2018. Fire, flood, and drought: extreme climate events alter flow paths and stream chemistry. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 123. <https://doi.org/10.1029/2017JG004349>
- Odigie, K.O., Khanis, E., Hibdon, S.A., Jana, P., Araneda, A., Urrutia, R. y Flegal, A.R.** 2016. Remobilization of trace elements by forest fire in Patagonia, Chile. *Regional Environmental Change*, 16(4): 1089–1096.
- ONU-Habitat (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos).** 2018. *Working for a Better Urban Future Annual Progress Report 2018* (disponible en <https://unhabitat.org/wp-content/uploads/2019/05/HSP-HA-1-INF2-UN-HABITAT-Annual-Report-2018.pdf>).
- Paton, D., Buergelt, P.T., Tedim, F. y McCaffrey, S.** 2015. Wildfires: international perspectives on their social–ecological implications. En: D. Paton, P.T. Buergelt, F. Tedim y S. McCaffrey, eds. *Wildfire hazards, risks and disasters*, pp. 1–14. Londres, Elsevier.
- Pausas, J.G. y Keeley, J.E.** 2019. Wildfires as an ecosystem service. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5): 289–295.
- Postel, S.L. y Thompson Jr, B.H.** 2005. Watershed protection: capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum*, 29(2): 98–108.
- Robichaud, P.R., Lewis, S.A., Brown, R.E. y Ashmun, L.E.** 2009. Emergency post-fire rehabilitation treatment effects on burned area ecology and long-term restoration. *Fire Ecology*, 5(1): 115–128.
- Robinne, F.-N., Bladon, K.D., Miller, C., Parisien, M.-A., Mathieu, J. y Flannigan, M.D.** 2018. A spatial evaluation of global wildfire-water risks to human and natural systems. *Science of the Total Environment*, 610–611: 1193–1206. DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.08.112
- Robinne, F.-N., Miller, C., Parisien, M.-A., Emelko, M.B., Bladon, K.D., Silins, U. y Flannigan, M.** 2016. A global index for mapping the exposure of water resources to wildfire. *Forests*, 7(1): 22.
- Sampson, D.A., Amatya, D.M., Lawson, C.B. y Skaggs, R.W.** 2011. Leaf area index (LAI) of loblolly pine and emergent vegetation following a harvest. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 54(6): 2057–2066.
- Smith, H.G., Sheridan, G.J., Lane, P.N.J., Nyman, P. y Haydon, S.** 2011. Wildfire effects on water quality in forest catchments: a review with implications for water supply. *Journal of Hydrology*, 396 (1–2): 170–192.
- Soto, L., Galleguillos, M., Seguel, O., Sotomayor, B. y Lara, A.** 2019. Assessment of soil physical properties' statuses under different land covers within a landscape dominated by exotic industrial tree plantations in south-central Chile. *Journal of Soil and Water Conservation*, 74(1): 12–23.

- Sun, G., Hallema, D.W. y Asbjornsen, H.** 2017. Ecohydrological processes and ecosystem services in the Anthropocene: a review. *Ecological Processes*, 6: 35.
- Sun, G., Hallema, D.W. y Asbjornsen, H.** 2018. Preface for the article collection “Ecohydrological processes and ecosystem services”. *Ecological Processes*, 7: 8.
- Thompson, M.P., Marcot, B.G., Thompson, F.R., McNulty, S., Fisher, L.A., Runge, M.C., Cleaves, D. y Tomosy, M.** 2013. *The science of decisionmaking: applications for sustainable forest and grassland management in the National Forest System*. Gen. Tech. Rep. WO-GTR-88. Washington, DC, Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 54 p.
- White, I., Wade, A., Worthy, M., Mueller, N., Daniell, T. y Wasson, R.** 2006. The vulnerability of water supply catchments to bushfires: impacts of the January 2003 wildfires on the Australian Capital Territory. *Australasian Journal of Water Resources*, 10(2): 179–194.
- Zhou, Y., Ma, J., Zhang, Y., Qin, B., Jeppesen, E., Shi, K., Brookes, J.D., Spencer, R.G.M., Zhu, G. y Gao, G.** 2017. Improving water quality in China: environmental investment pays dividends. *Water Research*, 118, 152–159. ◆

# Soluciones basadas en la naturaleza para los desastres vinculados al agua

*L. Spurrier, A. Van Breda, S. Martin, R. Bartlett y K. Newman*



© WWF-MADAGASCAR

*Los manglares son recursos clave para muchas de las personas más vulnerables del mundo, pero se necesita más investigación y coordinación para orientar las decisiones sobre la función que desempeñan en la reducción del riesgo de desastres.*

**Lauren Spurrier** es vicepresidenta de Conservación de los Océanos del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), Washington, DC, Estados Unidos de América

**Anita Van Breda** es directora superior de Medio Ambiente y Gestión de Desastres del WWF, Washington, DC, Estados Unidos de América

**Shaun Martin** es director superior de Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático del WWF, Washington, DC, Estados Unidos de América

**Ryan Bartlett** es director de Riesgo Climático y Resiliencia del WWF, Washington, DC, Estados Unidos de América

**Kate Newman** es vicepresidenta de la Iniciativa del Sector Público para Bosques y Agua Dulce del WWF, Washington, DC, Estados Unidos de América

Los manglares se encuentran entre los ecosistemas costeros más valiosos del mundo y brindan a las comunidades locales numerosos servicios y beneficios. Funcionan como hábitats de cría para muchos animales, como las especies de cangrejos, camarones y peces, apoyan las redes alimentarias locales y crean vínculos con otros ecosistemas para el ciclo de nutrientes y las rutas migratorias (Nagelkerken *et al.*, 2008). Los manglares también apoyan a una gran variedad de especies importantes desde el punto de vista cultural y ambiental, lo que abarca aves costeras, cocodrilos, manatíes e incluso tigres en Sundarbans (Danda *et al.*, 2017). Millones de personas que viven a lo largo de las costas se benefician de los manglares para la acuicultura, la agricultura, la silvicultura, la protección contra la erosión de la costa, los dendrocombustibles, los materiales de

construcción y el uso local con fines de subsistencia (Nagelkerken *et al.*, 2008).

Los manglares, que actúan como una transición entre ambientes marinos y terrestres, pueden brindar protección a las personas vulnerables ante los impactos del cambio climático (Munang *et al.*, 2013) al atenuar la energía de las olas y las mareas de tormenta, amortiguar el aumento del nivel del mar, estabilizar las costas de la erosión y contribuir al control general de las inundaciones (Vo *et al.*, 2012). Los manglares prestan aún más servicios ecosistémicos cuando se combinan con arrecifes de coral y praderas submarinas.

No obstante, a pesar de sus diversos beneficios, la extensión global de los manglares ha disminuido en un 67 % en el siglo pasado. En la actualidad, se pierde alrededor del 1 % de la cubierta

**Foto: Restauración comunitaria de manglares en Madagascar**

de manglares por año (FAO, 2007), hecho que se ve impulsado por el desarrollo costero, la acuicultura, el uso de recursos y, en algunos casos, el cambio climático. La pérdida de manglares puede aumentar la vulnerabilidad de las comunidades costeras y los riesgos a los que están expuestas (Blankenspoor, Dasgupta y Lange, 2016). La reducción continua de las zonas de manglares podría provocar pérdidas drásticas de biodiversidad, una mayor intrusión salina en las zonas costeras y la sedimentación de arrecifes de coral, puertos y rutas de navegación, con la consiguiente pérdida de ingresos y alternativas de subsistencia (FAO, 2007).

Los manglares son esenciales para reducir la vulnerabilidad de muchas comunidades costeras a los impactos del cambio climático y los fenómenos climáticos extremos cada vez más intensos y frecuentes. Sin embargo, el cambio climático en sí mismo representa una amenaza considerable para los manglares, algo que podría disminuir su valor para reducir esta vulnerabilidad (Algoni, 2015). A fin de maximizar las oportunidades para la reducción del riesgo de desastres, los conservacionistas y los profesionales en materia de riesgos de desastres deben prestar suma atención a las amenazas que genera la pérdida rápida de manglares a nivel mundial y su capacidad para sobrevivir en un clima cambiante.

Los profesionales en materia de riesgo de desastres también deben considerar la viabilidad actual y futura de los servicios de protección de los manglares. Por ejemplo, deben comprenderse las consecuencias de los impactos combinados del aumento del nivel del mar, el cambio en la salinidad, los fenómenos meteorológicos extremos, el desarrollo económico (por ejemplo, la acuicultura y la pesca) y el desarrollo de infraestructuras (por ejemplo, carreteras, represas y urbanización) para determinar mejor la forma en que los manglares podrían contribuir a la reducción de los peligros para las personas en la planificación a largo plazo de la reducción del riesgo de desastres. Al mismo tiempo, los conservacionistas deben tomar medidas urgentes

para reducir las amenazas a los manglares existentes y permitir que las especies de árboles de los manglares migren tierra adentro y a nuevas zonas a medida que aumenta el nivel del mar. Las autoridades que tienen a su cargo la formulación de políticas y los administradores de tierras deben comprender la interacción de estos factores a escala del paisaje.

En el presente artículo se exponen los factores que deben considerarse al evaluar el valor de los ecosistemas de manglares para la reducción del riesgo de desastres en un clima cambiante, y se recomienda profundizar en la investigación, colaboración y coordinación entre los sectores humanitario, de planificación del uso de la tierra, conservación, adaptación al cambio climático, desarrollo y gestión de desastres a fin de permitir que se tomen decisiones con un mayor conocimiento de causa sobre el uso de manglares para la reducción del riesgo de desastres.

#### **PROTECCIÓN COSTERA A PARTIR DE UNA COMBINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA NATURAL Y CONSTRUIDA**

La integración de los manglares en la reducción del riesgo de desastres no es un concepto completamente nuevo. Por mucho

tiempo, profesionales y científicos especializados en áreas costeras reconocieron el valor de los manglares y los ecosistemas costeros relacionados, como los arrecifes de coral y las praderas submarinas, para mitigar los impactos de los peligros costeros, incluidas las marejadas ciclónicas y las inundaciones provocadas por ciclones y, en cierta medida, los tsunamis. En su calidad de “escudos biológicos” costeros, los bosques de manglares pueden atenuar la energía de las olas y reducir la vulnerabilidad ante las inundaciones por tormentas, aunque su eficacia dependerá de una variedad de factores específicos del sitio (Recuadro 1). Las variaciones en las características costeras y la influencia del ser humano en los sistemas de manglares afectan el valor relativo de los manglares como mecanismos de defensa costera. Por lo tanto, es importante revisar cuidadosamente los sitios para determinar en qué medida los manglares existentes o restaurados deberían formar parte de las estrategias generales de gestión del riesgo de desastres.

*Manglares en el bosque de Sundarbans, ubicados en el límite de la bahía de Bengala, provincia de Khulna, en la costa sur de Bangladesh. Estos manglares sufren el azote del mar, pero desempeñan un papel importante para proteger la costa de las tormentas y la erosión*



### Recuadro 1 Consideraciones de planificación

Es crucial que un organismo (administrado por el gobierno o la comunidad) comprenda cabalmente los ecosistemas de manglares, ya que ello determinará su capacidad para planificar la función de los manglares en las estrategias de reducción del riesgo de desastres. La duración y la medida de la protección que pueden proporcionar los manglares dependen de muchos factores, que incluyen, entre otros, los siguientes:

Características de los manglares y su entorno

- Condiciones físicas y geológicas de un sitio, como la forma del suelo del bosque, la configuración de la costa y la batimetría
- Tamaño del ecosistema, densidad y rigidez de la vegetación (contribuye a comprender la resistencia a la fricción) y altura del bosque de manglares (Sutton-Grier, Wowk y Bamford, 2015)
- Funcionamiento hidrológico del paisaje (Radabaugh *et al.*, 2019).

Características de las amenazas

- Características espectrales de las olas de incidencia y etapa de marea en la que una ola ingresa a un bosque (Blankespoor, Dasgupta y Lange, 2016)
- Altura de la tormenta y velocidad del viento (Spalding *et al.*, 2014)
- Cantidad y duración de fenómenos extremos (Spalding *et al.*, 2014)
- Resistencia, recuperación y regeneración de manglares después de un fenómeno extremo
- Tipo de peligro al que se expone una comunidad (por ejemplo, tormenta, tsunami, erosión, aumento del nivel del mar) (Spalding *et al.*, 2014)
- Distancia de las comunidades humanas y la infraestructura desde la costa
- Respuesta humana al fenómeno (por ejemplo, cortar postes para la reconstrucción, colocación de estructuras duras o barreras dentro de un ecosistema de manglares y reconstrucción de carreteras adyacentes al ecosistema).

Las opciones tradicionales de infraestructura construida para la defensa costera han demostrado ser inadecuadas, y a veces contraproducentes, cuando se trata de lograr resultados para mitigar los riesgos de vida y los riesgos de destrucción de bienes. Las defensas materiales rígidas como los malecones, diques y muros de contención pueden proporcionar una sensación general de seguridad porque resultan familiares, son bien comprendidas y, a menudo se construyen de conformidad con disposiciones locales codificadas. Por estas y otras razones, a menudo se prefiere la infraestructura material a las soluciones basadas en la naturaleza como los manglares. Sin embargo, hay muchos desincentivos para confiar únicamente en la infraestructura construida. Por ejemplo, la infraestructura construida tiene costos elevados de construcción, operación y mantenimiento, y su mayor fortaleza se da inmediatamente después de que se construyeron, para luego debilitarse con la edad. Adicionalmente, la infraestructura material se construye utilizando parámetros específicos, y puede ser difícil adaptarla al aumento del nivel

del mar u otras condiciones cambiantes. También puede causar pérdida del hábitat costero y tener repercusiones negativas en los servicios ecosistémicos que proporcionan los ecosistemas costeros cercanos (Sutton-Grier, Wowk y Bamford 2015).

Algunas de las limitaciones de la infraestructura construida («gris») y natural («verde») pueden abordarse mediante el uso de un enfoque híbrido que combina opciones de defensa costera de naturaleza gris y verde en el manejo de la costa, particularmente en zonas propensas a ciclones y tsunamis. Según una creciente tendencia en materia de investigación y experimentación a nivel mundial, la combinación de infraestructura natural y construida puede aumentar la resiliencia y disminuir los costos. Por ejemplo, los proyectos de manglares en Viet Nam pueden tener un costo entre 3 y 5 veces menor (dependiendo de la profundidad del agua) que un rompeolas que brinde el mismo nivel de protección (Narayan *et al.*, 2016). Los enfoques híbridos pueden mejorar los sistemas naturales y sus beneficios. Los manglares recientemente restaurados, por ejemplo,

pueden ser débiles mientras se afianzan las raíces de los árboles, y los árboles más jóvenes tienen mejores posibilidades de sobrevivir a grandes tormentas y otros factores de estrés si están protegidos por estructuras de ingeniería permeables (temporales) mientras maduran (Sutton-Grier, Wowk y Bamford, 2015). Al garantizar la restauración y el mantenimiento de los manglares, los administradores costeros y las autoridades que tienen a su cargo la toma de decisiones pueden aumentar la capacidad de defensa costera y ofrecer una amplia gama de beneficios conjuntos que contribuyen a la resiliencia económica, social y ecológica general de los sistemas costeros.

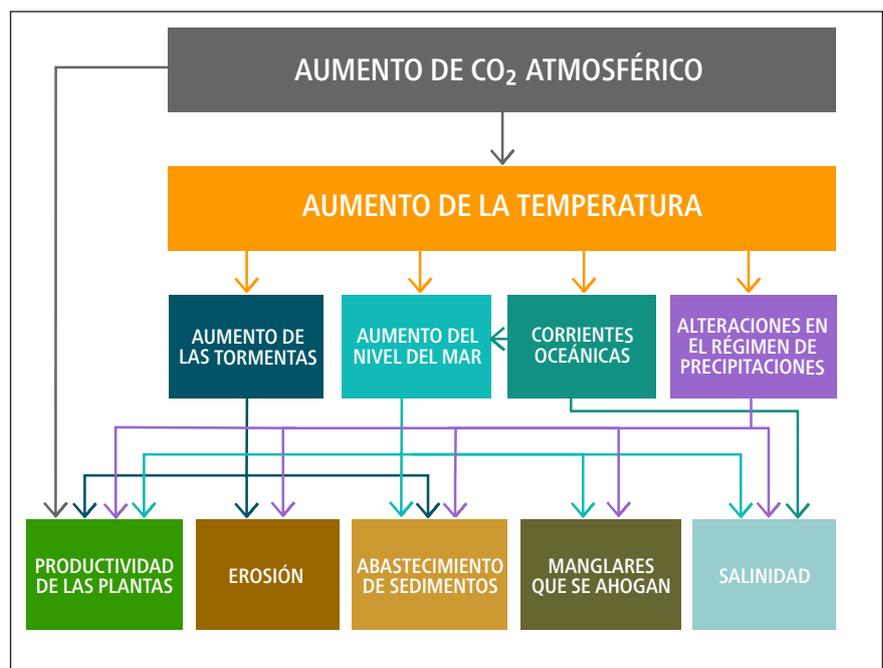
#### IMPACTO DE LOS DESASTRES EN LOS MANGLARES Y SU RECUPERACIÓN POSTERIOR

La planificación eficaz de la reducción del riesgo de desastres debe considerar los impactos que los fenómenos extremos tienen en los manglares. La velocidad y el alcance de la recuperación pueden variar ampliamente, según factores como el tipo



Un árbol del manglar en el delta del Mekong, Viet Nam, con raíces que se extienden desde una altura de cinco metros en el tronco

de especie, la disponibilidad de sedimentos, la temperatura, las precipitaciones, las tormentas y el aumento del nivel del mar (Ward *et al.*, 2016). Algunos fenómenos extremos pueden destruir completamente una zona de manglares y transformarla en marismas (Smith *et al.*, 2009). El meta-análisis de la investigación de desastres (Mukherjee *et al.* 2010) permite sugerir que, a pesar de que se hacen diversas evaluaciones luego de que ocurren los desastres, pocas incluyen un análisis exhaustivo de los impactos de tales desastres sobre los manglares y los ecosistemas relacionados o combinan un análisis de



1  
Principales factores y vías que afectan los sistemas de manglares en el cambio climático

Fuente: Ward *et al.* (2016), que se emplea aquí bajo una licencia CC BY 4.0.



© ANTONIO BISHLOW WFF/ISTOCKPHOTO

**El desarrollo de un proyecto turístico destruye manglares en Harvest Cayes, Placencia, Belice, Centroamérica**

gestión de los riesgos naturales, sociales, económicos. Como consecuencia, no se comprende cabalmente la forma en que los sistemas costeros colectivamente proporcionan servicios de reducción del riesgo de desastres.

Un informe reciente (Radabaugh *et al.*, 2019) documentó los impactos posteriores al huracán Irma en los Cayos de Baja Florida y las Diez Mil Islas. Dicho informe incluyó varios hallazgos clave, que se destacan a continuación:

- Se produjeron grandes daños en el dosel debido a los fuertes vientos; la cobertura del dosel aumentó de 40 a 60 % al cabo de 2 a 4 meses después del huracán, pero la recuperación alcanzó una meseta de allí en adelante.
- Los depósitos de lodo y escombros (que podrían incluir escombros no orgánicos, artículos del hogar y muebles) de las tormentas obstaculizan el rebrote al aplastar las raíces y el suelo y disminuir el intercambio de

oxígeno. Los árboles que inicialmente sobreviven a una tormenta pueden morir debido a esta falta de oxígeno.

- La falta de agua, o el exceso de agua, puede matar a los manglares.
- Los bosques que poseen una adecuada elevación e hidrología y cuentan con una fuente de propágulos deberían recuperarse naturalmente.

Si se comprenden los impactos de los fenómenos extremos en los ecosistemas costeros como los manglares, como se detalla en el ejemplo anterior después del huracán Irma, y la forma en que se logró la recuperación de tales fenómenos, ello puede proporcionar una base para determinar el potencial futuro que tienen los manglares en la reducción del riesgo. El seguimiento y análisis de los ecosistemas de manglares luego de que se produce un desastre también puede orientar las decisiones sobre la idoneidad y el valor de ayudar a los procesos de regeneración y proporcionar información útil para la formulación de futuros objetivos y actividades de reducción del riesgo de desastres.

El caso del ciclón Jokwe en Mozambique

en 2008 ilustra que a menudo no se consideran otros desafíos posteriores al desastre. A solicitud de CARE, el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) realizó una evaluación ambiental rápida inmediatamente después del ciclón para analizar el potencial de la estrategia de reconstrucción de CARE a fin de incluir enfoques ambientalmente responsables y apoyar actividades conjuntas de gestión de los recursos naturales entre CARE y el WWF. El informe posterior demostró que, después de un desastre puede aumentar la presión de extracción sobre los sistemas de manglares, dado que las comunidades comenzaron a reconstruir sus hogares inmediatamente usando madera de los manglares, lo que aumentó la tasa de consumo de los manglares más de 14 veces en comparación con épocas donde no hay una emergencia, lo que redujo potencialmente el papel protector del ecosistema de manglares. Los profesionales de reducción del riesgo de desastres deben tener en cuenta estos problemas en las tareas de planificación y gestión.

## Recuadro 2 Vínculos entre ecosistemas: manglares y ríos

El WWF identificó vínculos entre los ríos y los manglares a escala nacional y mundial en un proyecto reciente (Maynard *et al.*, 2019) mediante la combinación de dos cuerpos de datos a escala mundial sin precedentes y de última generación sobre los ríos (Grill *et al.*, 2019) y la extensión de los manglares en 1996-2016 (Bunting *et al.*, 2018). Los ríos se clasificaron como de «flujo libre» (escaso impacto humano), con «buena conectividad» (impacto humano leve) o «sin flujo libre» (impacto humano moderado a severo). En el proyecto se indicó que la captación de sedimentos en las represas fue un factor importante de pérdida de manglares adyacentes a los ríos, lo que disminuyó el potencial de reducción del riesgo de desastres de estos bosques. Al respecto, hay un análisis adicional en curso. Aquí presentamos los resultados de Mozambique.

Mozambique experimentó una disminución nacional en la cubierta de manglares, que pasó de 319 445 hectáreas en 1996 a 298 552 hectáreas en 2016, lo que equivale a una pérdida general del 7 %. Los manglares adyacentes a los ríos se perdieron a una tasa menor (3 %), y se modificaron de 55 853 hectáreas en 1996 a 54 389 hectáreas en 2016. De los 18 ríos que se seleccionaron en Mozambique (Gráfico 2), 11 se categorizaron como «de flujo libre» y 2 de «buena conectividad». Sin embargo, 5 ríos se categorizaron como «sin flujo libre», con importante impacto del ser humano. Los 5 ríos están en el sur de Mozambique y han experimentado pérdidas sustanciales de área de manglares: por ejemplo, el Zambezi (río 13 en el Gráfico 2) perdió 1 304 hectáreas de manglares entre 1996 y 2016. Con la creciente demanda de energía, Mozambique procura ampliar la generación de energía hidroeléctrica fluvial, y se han planificado cuatro nuevas represas a nivel nacional para el río Zambezi (Zarfl *et al.*, 2015). Asimismo, se prevé la construcción de 12 represas adicionales aguas arriba, donde el Zambezi y sus afluentes atraviesan Malawi, la República Unida de Tanzania, Zambia y Zimbabwe (Zarfl *et al.*, 2015). Es probable que estas represas exacerbén aún más la pérdida de manglares en el delta del Zambezi.

### 2 Conectividad río-manglares en Mozambique



Fuente: Maynard *et al.* (2019).

**Notas:** Se numeraron todos los ríos con un área de sección transversal mayor a 100 m<sup>2</sup> en la desembocadura río-oceano (esto se puede visualizar como un río de 50 metros de ancho y 2 metros de profundidad). El orden de los ríos refleja la forma en que interactúa ese río dentro de una red fluvial, y el río continuo más largo desde sus nacientes hasta el océano se identifica como de «orden 1». Los afluentes fuera de esta red troncal se marcan como de «orden 2» a lo largo de su extensión mayor desde las nacientes hasta la red troncal; los demás afluentes de estos segmentos de río de orden 2 se etiquetan como de orden 3, 4, etc., hasta un máximo de 7 órdenes por río.

### VULNERABILIDADES DE LOS MANGLARES DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Las comunidades que se dedican a la conservación y gestión del riesgo de desastres a menudo pasan por alto la vulnerabilidad de los manglares al cambio climático al planificar inversiones sustanciales en la protección y restauración de los manglares (Sutton-Grier, Wowk y Bamford, 2015). Los manglares se ven directamente afectados por el cambio climático a través de cinco vectores: 1) aumento del nivel del mar; 2) aumento del dióxido de carbono atmosférico; 3) aumento de la temperatura del aire y del agua; 4) cambios en las corrientes oceánicas; y 5) aumento de la variabilidad e intensidad de las lluvias (Figura 1). De dichos vectores, el aumento del nivel del mar plantea el desafío más importante porque aumenta la salinidad del suelo y, por ende, incrementa las tasas de mortalidad de las plántulas (Ward *et al.*, 2016). Cuatro factores serán los que determinarán si los manglares sobreviven y la forma en que lo harán en un futuro de cambio climático creciente y aumento del nivel del mar: 1) si pueden migrar tierra adentro (dependerá de la topografía o infraestructura que haya presente en su camino); 2) ubicación de la amplitud de mareas y entorno geomórfico (relacionado con el tipo de comunidad de manglares); 3) suministro continuo de sedimentos y 4) si la migración de manglares hacia el interior puede superar la tasa de aumento del nivel del mar (Blankespoor, Dasgupta y Lange, 2016; Ward *et al.*, 2016).

### VULNERABILIDADES DE LOS MANGLARES DEBIDO AL DESARROLLO AGUAS ARRIBA

Los ecosistemas de manglares están sumamente conectados con los paisajes terrestres y marinos adyacentes, lo que afecta su salud e integridad (Ervin *et al.*, 2010). Por ende, los intentos de conservar los manglares a nivel local pueden verse fácilmente afectados por amenazas externas que se producen más allá de sus «límites». Esto es especialmente

importante en los límites río-océano, donde los procesos que ocurren en zonas remotas en las cuencas terrestres aguas arriba pueden tener grandes impactos en los ecosistemas costeros. Por ejemplo, las represas impiden que se traslade el 31 % del sedimento que debería transportarse a los deltas asiáticos y que ayudaría a reponer las costas (Syvitski *et al.*, 2005), y los principales ríos de Pakistán, Tailandia y Viet Nam experimentan una disminución del 75-95 % en la deposición de sedimentos costeros (Gupta, Kao y Dai, 2012). El hecho de que esos sedimentos queden atrapados aguas arriba conduce a una mayor erosión costera y provoca la pérdida de bosques de manglares, con ejemplos observados en la costa del Pacífico mexicano (Ezcurra *et al.*, 2019), en el delta del Mekong (Li *et al.*, 2017) y en Mozambique (Recuadro 2). Sin embargo, no suelen articularse los esfuerzos de reducción del riesgo de desastres a nivel costero con los esfuerzos de gestión de los ríos aguas arriba, y la jurisdicción de los manglares suele filtrarse en las fisuras existentes entre los organismos forestales y ambientales gubernamentales enfocados en la tierra y los departamentos centrados en la pesca y asuntos marinos. Si no se adoptan enfoques de gestión integral, las decisiones de gestión aguas arriba podrían socavar la capacidad de los manglares para proporcionar una reducción del riesgo de desastres.

### CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

A pesar de que se ha documentado bien el valor de los manglares en la prestación de servicios de reducción del riesgo de desastres (si bien se necesitan estudios más integrados y multidisciplinarios luego de que se producen los desastres), rara vez se los considera en la planificación y el desarrollo. Incluso cuando se reconoce la función de los manglares en la reducción del riesgo de desastres, puede minimizarse y simplificarse excesivamente el conjunto completo de condiciones y asuntos que deben considerarse para evaluar los atributos de protección (por ejemplo, la

geomorfología y la integridad del bosque). Además de la dependencia excesiva de los sistemas materiales rígidos de defensa costera, la falta de una evaluación totalmente integrada puede aumentar inadvertidamente el riesgo al proporcionar una falsa sensación de seguridad entre las comunidades costeras (Park *et al.*, 2013). A escala de paisaje, las autoridades normativas y los administradores deberían considerar la viabilidad de los servicios actuales y potencialmente futuros que brindan los manglares para proteger al ecosistema frente a los impactos combinados del cambio a lo largo del tiempo. Los planes de protección costera no deben basarse únicamente en los beneficios de protección de los manglares y los ecosistemas relacionados, sino que deben adoptar un enfoque híbrido cuidadosamente diseñado que incluya una infraestructura construida e idónea, así como sistemas de detección temprana y educación comunitaria (Blankespoor, Dasgupta y Lange, 2016).

Es especialmente importante tener en cuenta el cambio climático (incluido el aumento del nivel del mar) porque puede causar la migración de los manglares y, por lo tanto, reducir su función protectora en una zona en particular. Los marcos adaptativos y las herramientas de apoyo a la toma de decisiones pueden aumentar la eficacia de la infraestructura natural, incluidos los manglares, al permitir que los administradores integren y actualicen continuamente los riesgos que plantea el cambio climático, así como los cambios en el uso de la tierra y las poblaciones humanas (Powell *et al.*, 2019).

En resumen:

- Cada vez hay más pruebas de que los manglares brindan una protección efectiva a las comunidades vulnerables contra los peligros, como las tormentas tropicales y los tsunamis, y los factores de estrés crónico, como el aumento del nivel del mar y la erosión costera.
- Los profesionales especializados en riesgo de desastres pueden mejorar los resultados en el uso de manglares para la reducción del riesgo de desastres

sopesando cuidadosamente una variedad de factores en el análisis, la planificación y la gestión de la reducción de riesgos. Deben considerar la viabilidad de los servicios actuales y potenciales (futuros) del ecosistema protector de manglares en el contexto de los impactos combinados del clima y el desarrollo a lo largo del tiempo para comprender mejor qué tan bien y en qué medida los manglares podrían contribuir a reducir los riesgos. Las autoridades normativas y los administradores de tierras deben comprender la interacción de estos factores a escala de paisaje.

- Los estudios integrados y multidisciplinarios posteriores al desastre pueden mejorar la comprensión de la eficacia de los manglares para la reducción del riesgo de desastres.
- Es importante considerar cuánto tiempo se necesitará para que se recuperen los manglares afectados por fenómenos extremos y, por ende, puedan brindar servicios de protección. Esto debe tenerse en cuenta en la recuperación y la planificación de la reducción del riesgo de desastres.
- A medida que los manglares migran debido al clima cambiante, ya no pueden desempeñar las mismas funciones de protección para las comunidades que dependen de ellos.
- Los marcos adaptativos y las herramientas de apoyo a la toma de decisiones que permiten a los administradores integrar y actualizar continuamente las proyecciones de riesgo de cambio climático, uso de la tierra y crecimiento de la población humana pueden aumentar la eficacia de la infraestructura natural, lo que incluye a los manglares.
- Aunque el valor de los manglares en la prestación de servicios de reducción del riesgo de desastres está bien documentado, rara vez se los considera en la planificación y el desarrollo. Sin embargo, en algunas circunstancias, las afirmaciones de que los manglares

reducen el riesgo de desastres son excesivamente simplistas, no presentan el conjunto completo de condiciones y temas que deben tenerse en cuenta para evaluar los atributos protectores de los manglares (es decir, geomorfología e integridad de los bosques) y, por lo tanto, pueden aumentar el riesgo proporcionando una falsa sensación de seguridad. ♦



## Referencias

- Algoni, D.M.** 2015. The impact of climate change on mangrove forests. *Current Climate Change Reports*, 1(1): 30–39.
- Blankespoor, B., Dasgupta, S. y Lange, G.M.** 2016. *Mangroves as protection from storm surges in a changing climate*. Banco Mundial, Washington, DC.
- Bunting, P., Rosenqvist, A., Lucas, R., Rebelo, L.M., Hilarides, L., Thomas, N., Hardy, A., Itoh, T., Shimada, M. y Finlayson, C.** 2018. The global mangrove watch – a new 2010 global baseline of mangrove extent. *Remote Sensing*, 10(10): 1669.
- Danda, A.A., Joshi, A., Ghosh, A.K. y Saha, R.** 2017. *State of the art report on biodiversity in Indian Sundarbans*. Nueva Delhi, World Wide Fund for Nature-India.
- Ervin, J., Mulongoy, K.J., Lawrence, K., Game, E., Sheppard, D., Bridgewater, P., Bennett, G., Gidda, S.B. y Bos, P.** 2010. *Making protected areas relevant: a guide to integrating protected areas into wider landscapes, seascapes and sectoral plans and strategies*. Serie técnica del CDB N.º 44. Montreal, Canadá, Convenio sobre la Diversidad Biológica. 94 p.
- Ezcurra, E., Barrios, E., Ezcurra, P., Ezcurra, A., Vanderplank, S., Vidal, O., Villanueva-Almanza, L. y Aburto-Oropeza, O.** 2019. A natural experiment reveals the impact of hydroelectric dams on the estuaries of tropical rivers. *Science Advances*, 5(3): 9875.
- FAO.** 2007. *The world's mangroves 1980–2005*. FAO Forestry Paper No. 153. Roma. 77 p.
- Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., Babu, S., Borrelli, P., Cheng, L., Crochetiere, H. y Macedo, H.E.** 2019. Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, 569(7755): 215.
- Gupta, H., Kao, S.J. y Dai, M.** 2012. The role of mega dams in reducing sediment fluxes: a case study of large Asian rivers. *Journal of Hydrology*, 464: 447–458.
- Li, X., Liu, J.P., Saito, Y. y Nguyen, V.L.** 2017. Recent evolution of the Mekong Delta and the impacts of dams. *Earth-Science Reviews*, 175: 1–17.
- Maynard, J., Tracey, D., Williams, G., Andradi-Brown, D.A., Grill, G., Thieme, M. y Ahmadi, G.N.** 2019. *Mangrove cover change between 1996 and 2016 near river-ocean outlets: a global analysis to identify priority rivers for conservation*. Washington, DC, Fondo Mundial para la Naturaleza. DOI: 10.6084/m9.figshare.8094245
- Mukherjee, N., Dahdouh-Guebas, F., Kapoor, V., Arthur, R., Koedam, N., Sridhar, A. y Shanker, K.** 2010. From bathymetry to bioshields: a review of post-tsunami ecological research in India and its implications for policy. *Environmental Management*, 46(3): 329–339.
- Munang, R., Thiaw, I., Alverson, K., Liu, J. y Han, Z.** 2013. The role of ecosystem services in climate change adaptation and disaster risk reduction. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(1): 47–52.
- Nagelkerken, I.S.J.M., Blaber, S.J.M., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., Kirton, L.G., Meynecke, J.O., Pawlik, J., Penrose, H.M., Sasekumar, A. y Somerfield, P.J.** 2008. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review. *Aquatic Botany*, 89(2): 155–185.
- Narayan, S., Beck, M.W., Reguero, B.G., Losada, I.J., Van Wesenbeeck, B., Pontee, N., Sanchirico, J.N., Ingram, J.C., Lange, G.M. y Burks-Copes, K.A.** 2016. The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences. *PLoS ONE*, 11(5): e0154735.
- Park, J., Seager, T.P., Rao, P.S.C., Convertino, M. y Linkov, I.** 2013. Integrating risk

- and resilience approaches to catastrophe management in engineering systems. *Risk Analysis*, 33(3): 356–367.
- Powell, E.J., Tyrrell, M.C., Milliken, A., Tirpak, J.M. y Staudinger, M.D.** 2019. A review of coastal management approaches to support the integration of ecological and human community planning for climate change. *Journal of Coastal Conservation*, 23(1): 1–18.
- Radabaugh, K.R., Moyer, R.P., Chappel, A.R., Dontis, E.E., Russo, C.E., Joyse, K.M., Bownik, M.W., Goeckner, A.H. y Khan, N.S.** 2019. Mangrove damage, delayed mortality, and early recovery following Hurricane Irma at two landfall sites in southwest Florida, USA. *Estuaries and Coasts*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00564-8>
- Smith, T.J., Anderson, G.H., Balentine, K., Tiling, G., Ward, G.A. y Whelan, K.R.** 2009. Cumulative impacts of hurricanes on Florida mangrove ecosystems: sediment deposition, storm surges and vegetation. *Wetlands*, 29(1): 24.
- Spalding, M., McIvor, A., Tonneijck, F.H., Tol, S. y van Eijk, P.** 2014. Mangroves for coastal defence. Guidelines for coastal managers & policy makers. Wetlands International y The Nature Conservancy. 42 p.
- Sutton-Grier, A.E., Wowk, K. y Bamford, H.** 2015. Future of our coasts: the potential for natural and hybrid infrastructure to enhance the resilience of our coastal communities, economies and ecosystems. *Environmental Science & Policy*, 51: 137–148.
- Syvitski, J.P., Vörösmarty, C.J., Kettner, A.J. & Green, P.** 2005. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 308(5720): 376–380.
- Vo, Q.T., Kuenzer, C., Vo, Q.M., Moder, F. y Oppelt, N.** 2012. Review of valuation methods for mangrove ecosystem services. *Ecological Indicators*, 23: 431–446.
- Ward, R.D., Friess, D.A., Day, R.H. y KacKenzie, R.A.** 2016. Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2(4): e01211. <https://doi.org/10.1002/ehs2.1211>
- Zarfl, C., Lumsdon, A.E., Berlekamp, J., Tydecks, L. y Tockner, K.** 2015. A global boom in hydropower dam construction. *Aquatic Sciences*, 77(1): 161–170. ◆



## FAO MONTES



*Dignatarios reunidos en el estrado durante la inauguración de la Semana Forestal de Asia y el Pacífico 2019*

### LOS DESAFÍOS QUE ENFRENTAN LOS BOSQUES EN LA REGIÓN DE ASIA Y EL PACÍFICO

La 28.ª sesión de la Comisión Forestal de Asia y el Pacífico (CFAP) se celebró del 17 al 21 de junio de 2019 en Incheon, República de Corea, por invitación del gobierno de dicho país. Los delegados de 22 países miembros y 4 organizaciones de las Naciones Unidas participaron en la sesión, junto con observadores y representantes de 21 organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales regionales e internacionales.

Además de los asuntos administrativos, la CFAP consideró los siguientes puntos del orden del día: el tema de la sesión «bosques para la paz y el bienestar»; restauración de bosques y paisajes; bosques comunitarios, comercio y mercados; impacto de los avances tecnológicos en los bosques y la silvicultura; la labor de la FAO en materia de biodiversidad; avances en la implementación de actividades en la región apoyadas por la CFAP y la FAO; el tercer Estudio sobre las Perspectivas del Sector Forestal para Asia y el Pacífico (véase la sección «Libros»); bosques y cambio climático; la situación de la silvicultura en Asia y el Pacífico; preparativos para la 25.ª sesión del Comité Forestal y el XV Congreso Forestal Mundial; informes y recomendaciones de la Semana Forestal de Asia y el Pacífico 2019 (véase más abajo); procesos mundiales e implementación del Plan estratégico de las Naciones Unidas para los bosques y la colaboración con el Foro de las Naciones Unidas sobre los Bosques.

La Semana Forestal de Asia y el Pacífico de 2019, que tuvo lugar en Incheon simultáneamente con la 28.ª sesión de la CFAP, atrajo a unos 2 000 participantes del gobierno, la sociedad civil, el ámbito académico, el campo de la investigación y el sector privado. Durante la semana se convocó a un total de 82 eventos vinculados entre sí (talleres, seminarios y foros de discusión), lo que generó un rico debate y análisis sobre una amplia gama de temas acuciantes para los bosques de la región de Asia y el Pacífico.

La Semana Forestal de Asia y el Pacífico coincide con las sesiones de la CFAP, a fin de permitir el diálogo y el intercambio de opiniones con los estados miembros de la CFAP y otras partes interesadas

del sector forestal. La reunión en Incheon fue organizada por la FAO y el Servicio Forestal de Corea, y contó con el apoyo de la Ciudad Metropolitana de Incheon y 18 instituciones que actúan como líderes de área.

### ENCUESTA MUNDIAL DE TELEDETECCIÓN DE FRA2020

El equipo forestal de la FAO, responsable de la recopilación de datos forestales de los países y de la compilación de la Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 (FRA2020), ha llevado a cabo talleres de capacitación. El objetivo de los talleres es presentarles a los expertos de los países (quienes proporcionarán a la FAO datos revisados para la evaluación FRA2020) nuevos métodos para recopilar, almacenar y efectuar el seguimiento de la información empleando imágenes satelitales, así como nuevas herramientas diseñadas para mejorar el procesamiento y la interpretación de imágenes.

Los talleres contribuirán al desarrollo de capacidades nacionales especializadas en la producción de datos precisos y comparables aplicando una metodología y clasificación acordadas internacionalmente.

Las sesiones de capacitación y las mejoras en la recopilación de datos están diseñadas para contribuir a la próxima Encuesta Mundial de Teledetección de FRA2020, que creará un conjunto de datos global para evaluar la superficie forestal y el cambio de la superficie forestal a nivel regional y global.

La Encuesta Mundial de Teledetección, realizada por el Departamento Forestal de la FAO con el apoyo financiero de la Comisión Europea, tiene como objetivo complementar la evaluación FRA2020 con una reseña de los recursos forestales mundiales. También procura capacitar a los expertos de los países a través de enfoques participativos y de colaboración para desarrollar capacidades nacionales en la evaluación de la teledetección.

La Encuesta Mundial de Teledetección utilizará el software libre *Collect Earth Online*, que es una de las herramientas de la iniciativa *Open Foris* de la FAO desarrolladas en los últimos años por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos de América y la FAO, con el apoyo de Google.

A la fecha se han realizado talleres de la Encuesta Mundial de Teledetección en Argentina, Brasil, China, la Federación de Rusia, India, Madagascar, Paraguay, la República Democrática del Congo y Tailandia.

*Podrá encontrar más información en: [www.fao.org/forest-resources-assessment](http://www.fao.org/forest-resources-assessment)*



## EL MUNDO FORESTAL



©FAO/JULIUS TATO

### DOS NUEVOS «DECENIOS» DE LAS NACIONES UNIDAS

La FAO y los organismos asociados de Naciones Unidas (ONU) han lanzado dos «decenios» de la ONU que involucrarán contribuciones considerables de la FAO y un componente forestal significativo en su implementación: el Decenio de las Naciones Unidas de la Agricultura Familiar (2019-2028) y el Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030).

El Decenio de las Naciones Unidas de la Agricultura Familiar (2019-2028) fue proclamado en diciembre de 2017 como una forma de permitir que la agricultura familiar transforme los sistemas alimentarios y desempeñe un papel óptimo en el logro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. La FAO y el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola inauguraron el decenio en Roma, Italia, el 29 de mayo de 2019. También se presentó un plan de acción mundial (véase la sección «Libros») con el fin de brindar orientación sobre los pasos que deben darse para lograr el objetivo decenal de impulsar el apoyo a los agricultores familiares, especialmente en los países en desarrollo.

*Dos beneficiarios de un programa de la FAO sobre agricultura de conservación, Lucy Kathegu Kigunda y Gervasio Kigunda, posan en su finca familiar cerca de Meru, condado de Meru, Kenia. La agricultura familiar es el foco de uno de los «decenios» de las Naciones Unidas, entre los años 2019–2028*

El componente forestal del Decenio de las Naciones Unidas de la Agricultura Familiar se hace evidente a través de la labor del Mecanismo para Bosques y Fincas, que cuenta con el apoyo de la FAO y sus socios. El enfoque principal del Mecanismo es fortalecer los esfuerzos de las organizaciones de productores para mantener y mejorar los medios de vida de las comunidades rurales y forestales, garantizar un acceso justo y equitativo a los mercados, y alentar la inclusión de las mujeres como socias de los hombres en igualdad de condiciones al empoderarlas con los mismos derechos y nivel de participación en la toma de decisiones de la comunidad.

El 1 de marzo de 2019 la Asamblea General de la ONU declaró oficialmente el Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas 2012–2030. El propósito de este decenio es coordinar la restauración de ecosistemas masivamente degradados

a escala mundial para combatir las consecuencias negativas del cambio climático, especialmente en lo que respecta al suministro de agua y la biodiversidad, y aumentar la seguridad alimentaria.

Se estima que la degradación de los ecosistemas repercute negativamente en el bienestar de más de 3 000 millones de personas y cuesta alrededor del 10 % del producto bruto anual en la pérdida de servicios del ecosistema. Los sistemas alimentarios y la agricultura, el suministro de agua dulce, la protección contra los peligros y la provisión de un hábitat para los polinizadores y la flora y fauna se encuentran entre los servicios del ecosistema que están disminuyendo más rápidamente. Por otra parte, la restauración de los ecosistemas puede generar billones de dólares en servicios ecosistémicos y eliminar grandes cantidades de gases de efecto invernadero de la atmósfera.

ONU Medio Ambiente y la FAO liderarán la implementación del Decenio sobre la Restauración de los Ecosistemas, en colaboración con organismos asociados, con el fin de acelerar los objetivos de restauración global existentes, como el Desafío de Bonn, que tiene como meta restaurar 350 millones de hectáreas de ecosistemas degradados para 2030.

Entre las iniciativas regionales que conducen a ese objetivo se encuentran la Iniciativa 20x20 de América Latina, que tiene como meta restaurar 20 millones de hectáreas de tierras degradadas para 2020, y la Iniciativa para la Restauración del Paisaje Forestal Africano (AFR100), cuyo objetivo es restaurar 100 millones de hectáreas de tierras degradadas para 2030.

Mette Wilkie, directora de la División de Política y Recursos Forestales de la FAO, llamó la atención sobre el programa Acción contra la Desertificación (AAD), un poderoso instrumento implementado por la FAO y sus socios y financiado por la Unión Europea, cuyo objetivo es promover el manejo sostenible de la tierra y la restauración de tierras secas y degradadas en África, el Caribe y el Pacífico.

«Es verdaderamente posible reverdecer las tierras secas del mundo, y ello trae aparejado una gran cantidad de beneficios asociados, que van desde la reducción de la pobreza y el hambre hasta la mitigación del cambio climático y la reducción de los riesgos de conflicto», explicó Wilkie.

## FORO MUNDIAL SOBRE PAISAJES 2019

El 23 de junio de 2019 se realizó en Bonn, Alemania, el Foro Mundial sobre Paisajes, que se organizó junto con la Conferencia de Bonn sobre el Cambio Climático en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Asimismo, el encuentro aprovechó el impulso que se había logrado en el ámbito de los derechos de los pueblos indígenas durante la 18.ª sesión del Foro Permanente de las Naciones Unidas para las Cuestiones Indígenas que tuvo lugar en Nueva York del 13 al 22 de abril de 2019. El Foro Mundial sobre Paisajes se centró en los derechos de los pueblos indígenas y las comunidades locales y, específicamente, hizo hincapié en la adopción de un enfoque basado en los derechos para la restauración de los paisajes y los bosques.

Uno de los puntos principales en la agenda fue el aporte del Foro Mundial sobre Paisajes a la conformación del Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas. Se informó a los participantes que alrededor de 370 millones de pueblos indígenas en 87 países de todo el mundo manejan o tienen derechos de tenencia sobre más de 38 millones de kilómetros cuadrados de tierras (Garnett et al., 2018), y representan una fuerza poderosa para lograr una protección contra el cambio climático. Cuando se reconocen y se respetan sus derechos, los pueblos indígenas son administradores eficaces de sus tierras, que almacenan grandes cantidades de carbono y proporcionan un hábitat para una gran proporción de la biodiversidad del mundo. En el Foro Mundial sobre Paisajes se expresó que es importante que la comunidad internacional reconozca que las relaciones de los pueblos indígenas con el mundo natural son cruciales, no solo para la conservación de sus propias tierras, sino también para el bienestar de todos.

Asimismo, en el Foro Mundial sobre Paisajes 2019, la Iniciativa de Derechos y Recursos y el Grupo Principal de Pueblos Indígenas para el Desarrollo Sostenible presentaron un primer borrador de un «patrón de oro» para los derechos. El objetivo de esa norma es definir los principios de derechos seguros y adecuados que las organizaciones, las instituciones, los gobiernos y el sector privado deberían aplicar en la implementación de legislación, proyectos, negocios e iniciativas que se basen en el paisaje.



### Manejo de plagas forestales invasivas mediante el control biológico clásico

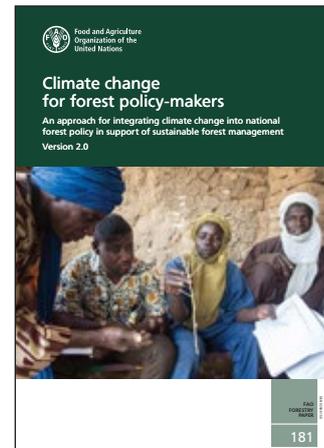
*Guide to the classical biological control of insect pests in planted and natural forests.* FAO Forestry Paper N.º 182. M. Kenis, B.P. Hurley, F. Colombari, S. Lawson, J. Sun, C. Wilcken, R. Weeks y S. Sathyapala. 2019. Roma, FAO. ISBN 978-92-5-131335-0.

Año a año, las plagas de insectos dañan millones de hectáreas de bosques en todo el mundo. A ello se suma que el alcance de dicho daño aumenta a medida que se incrementa el comercio internacional (lo que, a su vez, facilita la propagación de plagas de insectos), y a medida que los impactos del cambio climático se hacen más evidentes.

El control biológico clásico es un enfoque sumamente probado y rentable para el manejo de plagas forestales invasivas. Implica la importación de los «enemigos naturales» de plagas que no son autóctonas, para lo cual se los traslada desde sus países de origen con el objetivo de establecer poblaciones permanentes y autosustentables capaces de reducir de manera sostenible las poblaciones de plagas por debajo de niveles dañinos. En las últimas décadas se ha acumulado un gran acervo de conocimientos sobre el control biológico clásico en todo el mundo.

Esta publicación, que fue obra de un equipo de expertos, presenta dichos conocimientos en una guía clara y concisa destinada a ayudar a los profesionales de la salud forestal y a los administradores forestales, especialmente en los países en desarrollo, a fin de que implementen programas exitosos de control biológico clásico. Proporciona la teoría general y pautas prácticas, explica el «por qué» y el «cómo» del control biológico clásico en la silvicultura, y aborda los riesgos potenciales vinculados a dichos programas. Asimismo, presenta 11 estudios de casos de iniciativas exitosas para implementar el control biológico clásico.

Disponible en línea en: [www.fao.org/3/ca3677en/CA3677EN.pdf](http://www.fao.org/3/ca3677en/CA3677EN.pdf)



### La función de los bosques en la mitigación del cambio climático

*Climate change for forest policy-makers: an approach for integrating climate change into national forest policy in support of sustainable forest management.* Version 2.0. FAO Forestry Paper N.º 181. FAO. 2018. Roma. ISBN 978-92-5-131094-6.

Los bosques contribuyen considerablemente a la mitigación del cambio climático al actuar como sumideros de carbono y fuentes de almacenamiento de carbono. En tal sentido, desempeñan un papel esencial para reducir la vulnerabilidad y mejorar la adaptación de las personas y los ecosistemas al cambio climático y a la variabilidad climática, cuyos efectos negativos se hacen cada vez más evidentes en muchas partes del mundo.

Sin embargo, en muchos países, las políticas forestales nacionales no han abordado plenamente el cambio climático. A ello se suma que en las estrategias nacionales contra el cambio climático no se contemplaron debidamente las necesidades de mitigación y adaptación al cambio climático relacionadas con los bosques, y se subestimó la dimensión intersectorial de los impactos y las respuestas al cambio climático. Esta publicación proporciona un enfoque práctico al proceso de integrar el cambio climático a los programas forestales nacionales. El objetivo es ayudar a las autoridades de las administraciones gubernamentales y a los representantes de otras partes interesadas, incluidas las organizaciones de la sociedad civil y el sector privado, a preparar al sector forestal para los desafíos y oportunidades que plantea el cambio climático.

Este documento complementa un conjunto de directrices elaboradas por la FAO en 2013 para ayudar a los administradores forestales a incorporar las consideraciones sobre el cambio climático en los planes y prácticas de gestión forestal.

Disponible en línea en: [www.fao.org/3/CA2309EN/ca2309en.pdf](http://www.fao.org/3/CA2309EN/ca2309en.pdf)



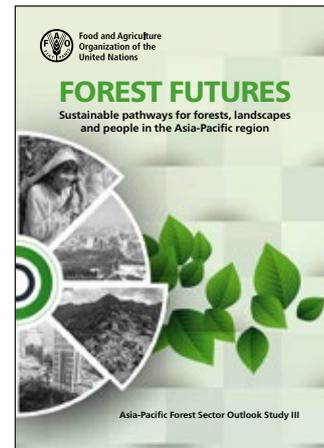
### Concesiones para la producción sostenible de madera en los trópicos

*Hacia concesiones forestales en las zonas tropicales que contribuyan a la consecución de la Agenda 2030: Directrices voluntarias.* Estudio FAO: Montes N.º 180. Y.T. Tegegne, J. Van Brusselen, M. Cramm, T. Linhares-Juvenal, P. Pacheco, C. Sabogal y D. Tuomasjukka. 2018. Roma, FAO y el Instituto Forestal Europeo. ISBN 978-92-5-130802-8

Los productos madereros sostenibles y sus cadenas de valor pueden desempeñar funciones fundamentales para lograr los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París sobre el cambio climático, y otorgan una amplia gama de beneficios a las comunidades que se encuentran en zonas forestales remotas, así como a las comunidades locales, regionales y a las sociedades de todo el mundo. Los productos forestales sostenibles pueden hacer aportes directos a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, como generar ingresos y empleo, mitigar el riesgo de desastres y reducir la huella ambiental. Adicionalmente, la gestión sostenible de los bosques naturales disminuye la degradación de los bosques, al tiempo que la producción forestal sostenible puede aumentar los costos de oportunidad de la deforestación y generar ingresos para las estrategias de conservación.

Estas directrices voluntarias para las concesiones forestales se centran en las concesiones como instrumentos de políticas para lograr un manejo forestal sostenible en los trópicos, y se basan en las lecciones aprendidas derivadas de los éxitos y fracasos en la implementación de concesiones forestales. Asimismo, ofrecen un enfoque práctico de gestión participativa para garantizar que los regímenes de concesiones forestales actúen como fuentes confiables de productos forestales madereros y no madereros sostenibles y contribuyan a lograr la plena contribución de la silvicultura a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Disponible en línea en: <http://www.fao.org/3/i19487es/i19487ES.pdf>



### El futuro de los bosques en Asia y el Pacífico

*Forest futures: sustainable pathways for forests, landscapes and people in the Asia-Pacific region.* Asia-Pacific Forest Sector Outlook Study III. FAO. 2019. Bangkok. ISBN 978-92-5-131457-9.

Los bosques y paisajes de la región de Asia y el Pacífico están bajo una presión cada vez mayor en virtud del desarrollo económico, el cambio climático, los cambios demográficos, los conflictos por la tenencia y el uso de la tierra y otros factores generadores de tensión. Esta publicación, que es el tercer Estudio sobre las perspectivas del sector forestal en Asia y el Pacífico, presenta hipótesis y un análisis estratégico con el fin de ayudar a las autoridades normativas y otros actores a comprender las consecuencias de estos factores generadores de tensión para los bosques y la silvicultura en la región de Asia y el Pacífico, junto con la mejor manera de encarar los desafíos futuros.

El estudio, que es producto de una colaboración sobresaliente entre instituciones, redes y más de 800 personas en toda la región, analiza los factores que impulsan el cambio en el sector forestal de la región, para lo que se consideran tres hipótesis: situación normal, ideal y con perturbaciones, hasta los años 2030 y 2050. En la publicación se muestra que, si el enfoque radica en hacer «más de lo mismo», ello probablemente redundará en resultados sumamente negativos en ambos horizontes temporales.

Por otro lado, la adopción de enfoques de paisaje y otras medidas clave podría contribuir a materializar el enorme potencial de los bosques, dada su capacidad de cumplir simultáneamente múltiples funciones económicas, sociales y ambientales, para ayudar a cumplir los objetivos de desarrollo dentro del sector forestal y fuera de él. Un mensaje clave del informe es que la región debe responder ahora para garantizar la resiliencia de los bosques, los paisajes y las comunidades, y de esa forma evitar resultados catastróficos. El informe establece siete «acciones sólidas» para concretar esta respuesta.

Disponible en línea en: [www.fao.org/3/ca4627en/ca4627en.pdf](http://www.fao.org/3/ca4627en/ca4627en.pdf)



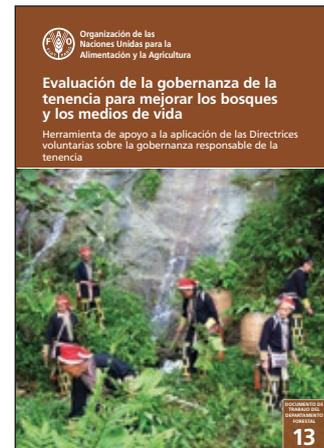
### Fortalecer los aportes de la agricultura familiar a los sistemas alimentarios

*Decenio de las Naciones Unidas para la Agricultura Familiar 2019-2028: Plan de acción mundial.* FAO y FIDA. 2019. Roma, FAO y Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). ISBN 978-92-5-131483-8 (FAO).

Al colocar a la agricultura familiar en el centro de la agenda internacional durante un período de diez años, el Decenio de las Naciones Unidas para la Agricultura Familiar (2019-2028) brinda una oportunidad sin precedentes para lograr un cambio positivo en los sistemas alimentarios a nivel mundial. Los agricultores familiares han demostrado su capacidad para desarrollar nuevas estrategias y brindar respuestas innovadoras a los desafíos económicos, sociales y ambientales emergentes. No solo producen alimentos, sino que simultáneamente desempeñan funciones ambientales, sociales y culturales, actúan como custodios de la biodiversidad y ayudan a preservar los paisajes y mantener el patrimonio comunitario y cultural. Los agricultores familiares también cuentan con los conocimientos para producir alimentos nutritivos y culturalmente apropiados como parte de las tradiciones locales.

El Plan de Acción Mundial del Decenio de las Naciones Unidas para la Agricultura Familiar (2019-2028) representa el resultado tangible de un proceso de consulta global amplio e inclusivo que involucra a diversos socios en todo el mundo. El objetivo es movilizar acciones coordinadas para ayudar a los agricultores familiares a superar los desafíos que enfrentan, aumentar su capacidad de inversión y, de este modo, obtener los beneficios de sus contribuciones para transformar las sociedades e implementar soluciones sostenibles a largo plazo.

Disponible en línea en: <http://www.fao.org/3/ca4672es/ca4672es.pdf>



### Mejorar la gobernanza de la tenencia forestal

*Evaluación de la gobernanza de la tenencia para mejorar los bosques y los medios de vida: herramienta de apoyo a la aplicación de las Directrices voluntarias sobre la gobernanza responsable de la tenencia.* Documento de trabajo N.º 13 del Departamento Forestal. FAO 2019. Roma. ISBN 978-92-5-131841-6.

Los gobiernos de todo el mundo han intentado durante muchos años dar reconocimiento formal y fortalecer la tenencia consuetudinaria. Adicionalmente, los departamentos forestales han incorporado diversos tipos de acuerdos participativos para reconocer ciertos derechos de uso de los recursos de las comunidades locales con el fin de mejorar la gobernanza forestal y reducir la pobreza.

Esta herramienta de evaluación se creó con el objetivo de comprender mejor las fortalezas y limitaciones de tales reformas de la tenencia forestal. Se basa en las Directrices voluntarias sobre la gobernanza responsable de la tenencia de la tierra, la pesca y los bosques, avaladas internacionalmente. Aunque la herramienta permite la evaluación de todas las formas de acuerdos de tenencia, puede ser de especial utilidad para analizar los casos que reconocen la tenencia consuetudinaria en la silvicultura a través de iniciativas forestales participativas, como la silvicultura colaborativa, la silvicultura comunitaria y la silvicultura a pequeña escala. Este instrumento también permite la identificación y evaluación de sistemas de tenencia consuetudinaria no reconocidos en la legislación escrita.

Tal como se ratificó en varios países donde se hizo la prueba, los hallazgos y recomendaciones que surgen de la evaluación de los acuerdos de tenencia pueden proporcionar información valiosa sobre las fortalezas y limitaciones de los acuerdos y reformas existentes, así como ayudar a generar ideas para mejorar su desempeño en la gobernanza forestal, fortalecer los medios de vida locales y contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Disponible en línea en: <http://www.fao.org/3/ca5039es/CA5039ES.pdf>



### Evaluar los beneficios de la silvicultura comunitaria

*Marco para evaluar el alcance y la eficacia de la forestería de base comunitaria.*

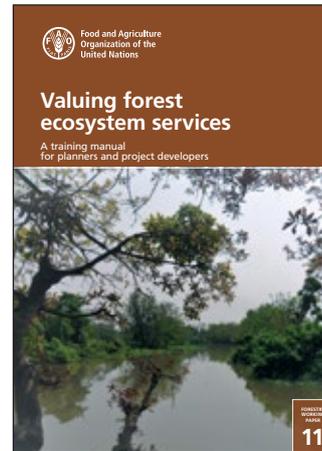
Documento de trabajo del Departamento Forestal N.º 12. FAO 2019. Roma. ISBN 978-92-5-131835-5.

En los últimos cuatro decenios se ha ampliado considerablemente la superficie que se encuentra bajo regímenes de silvicultura comunitaria, lo que ha involucrado una amplia gama de iniciativas que favorecen la participación de las personas en la silvicultura.

El objetivo de este marco de evaluación es contribuir a generar ideas sobre los aciertos y las deficiencias de la silvicultura comunitaria a nivel de país. El marco también puede proporcionar un medio para determinar y medir el alcance y la eficacia del amplio espectro de iniciativas de silvicultura comunitaria.

La silvicultura comunitaria eficaz tiene el potencial de restaurar rápidamente los bosques en términos ecológicos y ampliar el manejo forestal sostenible al nivel nacional, al tiempo que mejora los medios de vida de millones de personas marginadas en todo el mundo. De esa forma, la silvicultura comunitaria tiene el potencial de contribuir significativamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Disponible en línea en: <http://www.fao.org/3/ca4987es/CA4987ES.pdf>



### Cómo estimar correctamente los servicios ecosistémicos forestales

*Valuing forest ecosystem services: a training manual for planners and project developers.*

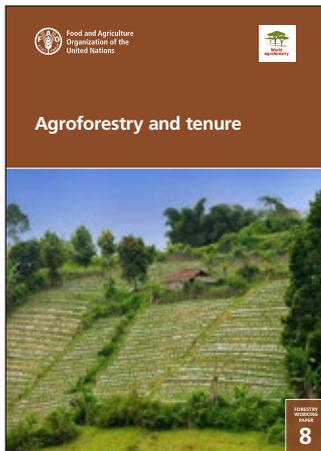
FAO Forestry Working Paper N.º 11. M. Masiero, D. Pettenella, M. Boscolo, S.K. Barua, I. Animon y J.R. Matta. 2019. Roma, FAO. ISBN 978-92-5-131215-5.

Cuando no se considera adecuadamente el valor económico total de los servicios ecosistémicos en la toma de decisiones, ello contribuye a la continua degradación y pérdida de ecosistemas y biodiversidad. La mayoría de los servicios ecosistémicos se consideran bienes públicos y tienden a ser objeto de una sobreexplotación por parte de la sociedad. Por otro lado, cuando se reconoce, se demuestra y se capta el valor de los servicios ecosistémicos, se puede contribuir a formular directrices de políticas para el manejo y la conservación de los ecosistemas y, por ende, aumentar la prestación de servicios ecosistémicos y sus aportes al bienestar humano.

El objetivo de este manual es mejorar la comprensión de los servicios ecosistémicos y su valoración. El público objetivo abarca a funcionarios gubernamentales de unidades de planificación, así como funcionarios y profesionales de campo de departamentos gubernamentales clave en Bangladesh responsables del desarrollo del proyecto, incluido el Ministerio de Medio Ambiente y Bosques y sus dependencias. En consecuencia, la mayoría de los ejemplos y estudios de caso que se presentan en esta publicación se adapta al contexto de Bangladesh, pero los conceptos, enfoques y métodos generales se pueden aplicar a un amplio espectro de situaciones. Este manual se centra en la valoración de los servicios ecosistémicos relacionados con los bosques, incluidos los que proporcionan los árboles fuera de los bosques. Se espera que mejore las iniciativas de valoración y ayude a asegurar un mejor uso de dichos valores en la formulación de políticas y la toma de decisiones.

Entre otras cosas, el manual analiza los conceptos básicos de la matemática financiera (por ejemplo, el valor temporal del dinero, el descuento, el análisis de costo-beneficio y los indicadores de rentabilidad y riesgo); los principales métodos de valoración económica; ejemplos de valoración de servicios ecosistémicos seleccionados e insumos para considerar los valores en la toma de decisiones.

Disponible en línea en: [www.fao.org/3/ca2886en/CA2886EN.pdf](http://www.fao.org/3/ca2886en/CA2886EN.pdf)



### Abordar los desafíos relacionados con la tenencia en la agrosilvicultura

*Agroforestry and tenure*. FAO Forestry Working Paper N.º 8. S. Borelli, E. Simelton, S. Aggarwal, A. Olivier, M. Conigliaro, A. Hillbrand, D. Garant y H. Desmyttere. 2019. FAO y Centro Mundial de Agrosilvicultura (ICRAF). ISBN 978-92-5-131467-8 (FAO).

La agrosilvicultura está ganando terreno en la búsqueda de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes debido a su potencial para secuestrar carbono y mitigar el cambio climático y simultáneamente aumentar la sostenibilidad socioeconómica y ambiental del desarrollo rural.

Sin embargo, la agrosilvicultura continúa enfrentando desafíos, como incentivos de políticas desfavorables, restricciones legales y una coordinación deficiente entre los sectores. En particular, muchos investigadores y profesionales de la agrosilvicultura han identificado la inseguridad de la tenencia de la tierra y los recursos como un obstáculo importante para la promoción de esta práctica.

Esta publicación analiza los principales desafíos relacionados con la tenencia que pueden afectar la adopción de la agrosilvicultura, con el objetivo de orientar las políticas y la implementación de proyectos. Los desafíos que socavan la adopción de la agrosilvicultura incluyen la inseguridad de la tenencia (ya sea con respecto a la tierra o sus productos); parcelas de tamaños pequeños; políticas que limitan el acceso y el uso de la tierra por parte de mujeres y grupos minoritarios y las barreras que plantean algunos regímenes consuetudinarios.

Sobre la base de estudios de casos prácticos, la publicación presenta medidas y enfoques que podrían contribuir a impulsar la adopción de la agrosilvicultura, y concluye con recomendaciones para formular e implementar políticas de tenencia que promuevan la agrosilvicultura.

Disponible en línea en: [www.fao.org/3/CA4662en/CA4662en.pdf](http://www.fao.org/3/CA4662en/CA4662en.pdf)



### Cambio climático: oportunidades y riesgos para los bosques mediterráneos

*State of Mediterranean forests 2018*. FAO y Plan Bleu. 2018. Roma y Marsella, Francia. ISBN 978-92-5-131047-2 (FAO).

La región mediterránea tiene más de 25 millones de hectáreas de bosques y alrededor de 50 millones de hectáreas de otras tierras arboladas. En conjunto, realizan contribuciones vitales al desarrollo rural, el alivio de la pobreza y la seguridad alimentaria y a los sectores de la agricultura, el agua, el turismo y la energía. Sin embargo, los cambios en el clima, la sociedad y el estilo de vida en el Mediterráneo podrían tener consecuencias tremendamente negativas para los bosques.

En virtud de la falta de datos sobre los bosques mediterráneos, y con el objetivo de proporcionar una base sólida para su gestión futura, el Comité sobre Cuestiones Forestales del Mediterráneo «Silva Mediterranea» le solicitó a la FAO, en colaboración con otras instituciones, que prepare y actualice periódicamente un informe sobre el estado de los bosques mediterráneos. En tal sentido, la primera edición de *State of Mediterranean Forests* (El estado de los bosques mediterráneos), publicada en 2013, se ha convertido en una importante obra de referencia. Esta segunda edición tiene como objetivo demostrar la importancia de los bosques mediterráneos para abordar cuestiones de relevancia mundial, como el cambio climático y el crecimiento demográfico. Los bosques mediterráneos también desempeñan la función de contribuir a que los países cumplan con sus compromisos internacionales en materia de bosques, en particular los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los objetivos de las tres convenciones de Río.

Disponible en línea en: [www.fao.org/3/ca2081en/CA2081EN.pdf](http://www.fao.org/3/ca2081en/CA2081EN.pdf)

También puede consultar el resumen ejecutivo de esta publicación, disponible en inglés y francés.

Inglés: [www.fao.org/3/ca3759en/CA3759EN.pdf](http://www.fao.org/3/ca3759en/CA3759EN.pdf)

Francés: [www.fao.org/3/ca3759fr/CA3759FR.pdf](http://www.fao.org/3/ca3759fr/CA3759FR.pdf)



### Pequeñas empresas forestales de importancia vital en América Latina

*Las pequeñas empresas forestales en América Latina: aprovechando su potencial para generar medios de vida sostenibles.* Documento de trabajo N.º 10. del Departamento Forestal de la FAO. F. Del Gatto, J. Mbairamadji, M. Richards y D. Reeb. 2018. Roma, FAO. ISBN 978-92-5-131419-7.

América Latina cuenta con una experiencia rica y única en el desarrollo de pequeñas empresas forestales. México, que ha tenido un vigoroso sector de pequeñas empresas forestales desde la década de 1970, ha sido pionero en la materia, y varios países le siguieron en los decenios posteriores. En la actualidad, hay numerosas pequeñas empresas forestales en muchos países latinoamericanos, y algunas han creado asociaciones y alianzas fuertes para promover y sostener su crecimiento. Sin embargo, el potencial de estas pequeñas empresas forestales aún no ha alcanzado su máxima expresión.

Esta publicación se centra en el desarrollo de las pequeñas empresas forestales en América Latina, documenta su situación y tendencias recientes, identifica desafíos y oportunidades clave, y presenta recomendaciones para fortalecerlas e impulsar su papel en el desarrollo sostenible.

Disponible en línea en: <http://www.fao.org/3/ca2431es/CA2431ES.pdf>



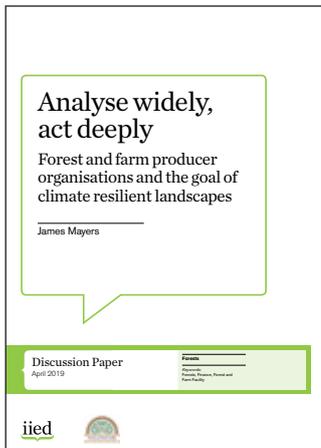
### Extender la protección social a través de las organizaciones de productores forestales

*The role of forest producer organizations in social protection.* FAO Forestry Working Paper N.º 7. N. Tirivayi, L. Nennen y W. Tesfaye. 2018. Roma, FAO. ISBN 978-92-5-130789-2.

En este estudio se identifica una amplia gama de factores que pueden permitir o restringir los beneficios de protección social que brindan las organizaciones de productores forestales. Los factores favorables incluyen: derechos seguros sobre la tierra, liderazgo y gestión sólidos, ingresos y accesibilidad al mercado para los recursos forestales, un entorno institucional favorable y un contexto social y político propicio en las comunidades.

Las organizaciones de productores forestales tienen oportunidades para obtener una asistencia financiera y técnica capaz de aumentar su viabilidad y, por ende, crear un espacio fiscal para brindar protección social. La naturaleza colectiva y participativa de las organizaciones de productores forestales es un activo para implementar los beneficios de la protección social. Las iniciativas internacionales de cambio climático brindan posibles vías para fortalecer y apoyar a las organizaciones de productores forestales a la hora de brindar beneficios de protección social. Sin embargo, las organizaciones de productores forestales deben superar una serie de limitaciones que derivan de su lejanía geográfica, variabilidad climática, tenencia insegura, conflictos, acceso deficiente al crédito y las finanzas, así como exclusión social y política.

Disponible en línea en: [www.fao.org/3/CA0370EN/ca0370en.pdf](http://www.fao.org/3/CA0370EN/ca0370en.pdf)



## Los aportes de las organizaciones de productores a la resiliencia climática

*Analyse widely, act deeply: forest and farm producer organisations and the goal of climate resilient landscapes. Documento de debate del IIED. J. Mayers. 2019. Londres, Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo (IIED). ISBN 978-1-78431-681-5.*

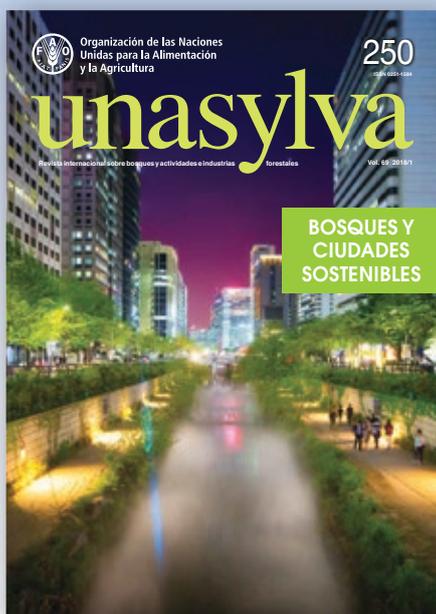
Las organizaciones locales, que prosperan entre los pequeños propietarios que dependen de los bosques adyacentes o de los árboles que crecen en sus fincas, probablemente sean la fuerza más grande y eficaz del mundo para mejorar los medios de vida y la sostenibilidad del entorno rural. Sin embargo, deben afrontar presiones que cambian rápidamente.

Es probable que muchas organizaciones de productores forestales y agrícolas consideren útil fijarse el objetivo orgánico de contribuir a los paisajes resilientes al clima. Diversos programas internacionales pueden ayudar a comprender y apoyar tales aportes, especialmente a través de acciones prácticas para la adaptación y mitigación climáticas y la restauración de los bosques. Los «enfoques de paisaje» son útiles para analizar los diversos problemas relacionados, al tiempo que se necesita una planificación inteligente desde el punto de vista político y específica para cada contexto a fin de lograr una acción efectiva.

Este documento analiza las posibles motivaciones y acciones para la obtención de paisajes resilientes al clima en cuatro tipos de organizaciones de productores forestales y agrícolas: organizaciones de pueblos indígenas; organizaciones forestales comunitarias; grupos de productores forestales y agrícolas, y grupos de procesamiento en contextos urbanos y periurbanos.

Disponible en línea en: <https://pubs.iied.org/pdfs/13610IIED.pdf>

# Suscripción electrónica a *Unasylda*



**¿Desea seguir recibiendo la versión impresa de Unasylda, o preferiría obtener la revista en formato electrónico, o quizá ambas cosas a la vez?**

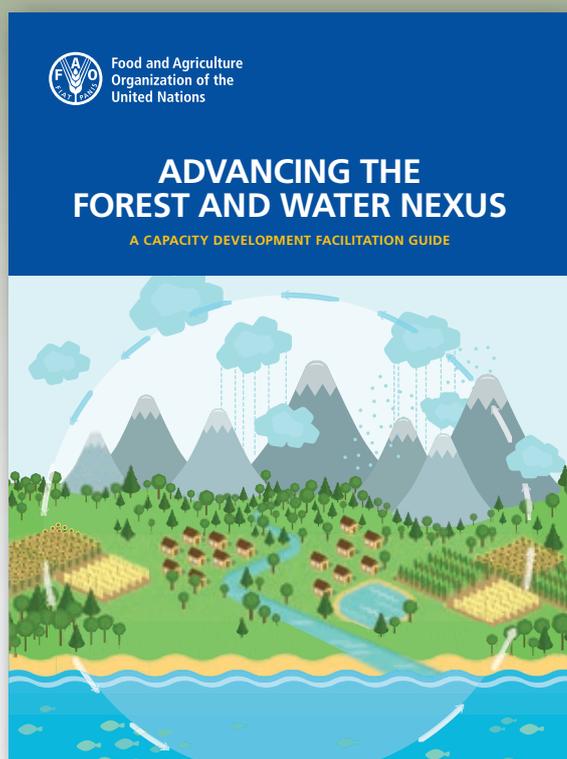
Si desea sustituir su suscripción a la revista impresa por el formato electrónico, tenga a bien escribir a [Unasylda@fao.org](mailto:Unasylda@fao.org) e incluya en la línea de asunto "Solo suscripción electrónica".

Si desea recibir, tanto el ejemplar impreso como la versión electrónica, tenga a bien escribir a [Unasylda@fao.org](mailto:Unasylda@fao.org) e incluya en la línea de asunto "Suscripción electrónica y suscripción impresa".

Le agradecemos que proporcione en su mensaje de correo electrónico la información de contacto pertinente.

Unasylda seguirá siendo una revista por suscripción gratuita, disponible en español, francés e inglés.

## Guía para el aprendizaje participativo sobre los bosques y el agua



El Programa sobre los bosques y el agua de la FAO ha creado esta guía de facilitación organizada en módulos con el fin de proporcionar información sobre antecedentes, materiales de recursos y un plan de facilitación para apoyar la realización de talleres de aprendizaje participativo y programas de fortalecimiento de capacidades en el nexo bosque-agua.

La guía se puede descargar de forma gratuita en [www.fao.org/documents/card/en/c/ca6483en](http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca6483en)



Organización de las Naciones Unidas  
para la Alimentación y la Agricultura

Unasyva@fao.org  
www.fao.org/forestry/unasyva

ISBN 978-92-5-132068-6 ISSN 0251-1584



9 789251 320686

CA6842ES/1/12.19