UN WATER

Informe

Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarollo de los Recursos Hìdricos 2018

# SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA GESTIÓN DEL AGUA




Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos

Objetivos de Desarollo Sostenible

AGUA Y SANEAMIENTO

FAO FIAT PANIS

PNUD Al servicio de las personas y las naciones

ONU medio ambiente

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

Programa Hidrológico Internacional

UNITED NATIONS UNIVERSITY

UNU-INWEH Institute for Water, Environment and Health

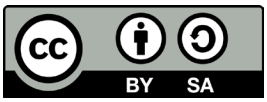
Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarollo de los Recursos Hídricos 2018

# SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA GESTIÓN DEL AGUA

Publicado en 2018 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura,
7, Place de Fontenoy - 75352 París 07 SP, Francia

© UNESCO 2018

ISBN 978-92-3-300083-4




Cita sugerida:
WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos)/ONU-Agua. 2018. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua.* París, UNESCO.

Título original: *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water.*

Esta publicación está disponible en Acceso Abierto bajo licencia de Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/). Al utilizar el contenido de esta publicación, los usuarios reconocen estar vinculados por los términos de uso dispuestos en el Repositorio de Acceso Abierto de la UNESCO (www.unesco.org/open-access/termsuse-ccbysa-en).

La presente licencia se aplicará exclusivamente al contenido del texto de la publicación. Para la utilización de cualquier material que no se encuentre claramente identificado como propiedad de la UNESCO se deberá solicitar autorización previa a: publication.copyright@unesco.org o UNESCO Publishing, 7, place de Fontenoy, 75352 París 07 SP Francia.

Las denominaciones empleadas y la presentación del material en esta publicación no implican la expresión de ninguna opinión de la UNESCO sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores; no son necesariamente las de la UNESCO y no comprometen a la organización. Los contenidos han sido proporcionados por los miembros y colaboradores de ONU-Agua que aparecen al inicio de cada uno de los capítulos. Ni la UNESCO ni el Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) son responsables de los errores en los contenidos suministrados ni de las discrepancias en los contenidos y datos entre un capítulo y otro. El WWAP ofreció la oportunidad de que las personas aparecieran como autores y colaboradores o que se les reconociera en esta publicación. El WWAP no es responsable de ninguna omisión en este sentido.

Diseño original de portada Phoenix Design Aid

Impreso por UNESCO, París

Esta publicación se imprime con tintas vegetales en papel FSC Mixed Sources, apoyando así el uso responsable de las reservas forestales, 100% reciclado, libre de ácido y libre de cloro.



# ÍNDICE


**Prólogo** **iv**
por Audrey Azoulay iv
Directora General de la UNESCO iv

**Prólogo** **v**
por Gilbert F. Houngbo v
Presidente de ONU-Agua y Director General del FIDA v

**Prefacio** **vi**
por Stefan Uhlenbrook, Coordinador del WWAP vi
y Richard Connor, Jefe de Redacción vi

**Agradecimientos** **ix**

**Resumen ejecutivo** **1**

**Prólogo: El estado de los recursos hídricos en el contexto de las soluciones basadas en la naturaleza** **10**




**Capítulo 1 | Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) y el agua** **24**

1.1 Introducción 25
1.2 Conceptos, herramientas, enfoques y terminología compatibles 26
1.3 Cómo funcionan las SbN 28
1.4 Creciente atención a SbN 38
1.5 Evaluación de las SbN en el contexto del presente informe 41

**Capítulo 2 | Las SbN para la gestión de la disponibilidad de agua** **42**

2.1 Introducción 43
2.2 Estudios de caso basados en el sector y cuestiones específicas 46
2.3 La influencia del reciclaje de la humedad en la disponibilidad de agua 54
2.4 Desafíos para habilitar las SbN en la disponibilidad de agua 54
2.5 Las SbN, la disponibilidad de agua y los ODS 57

**Capítulo 3 | Las SbN para la gestión de la calidad del agua** **58**

3.1 Los desafíos de la calidad del agua, los ecosistemas y el desarrollo sostenible 59
3.2 Las SbN para la sostenibilidad o la mejora de la calidad del agua 60
3.3 Monitoreo de la calidad del agua basado en la naturaleza – Monitoreo biológico 66
3.4 Los beneficios colaterales y las limitaciones de las SbN en la calidad del agua 68
3.5 El potencial de las SbN para contribuir a los ODS relacionados con la calidad del agua 69

**Capítulo 4 | Las SbN para la gestión de riesgos relacionados con el agua, la variabilidad y el cambio** **72**

4.1 Las SbN en el contexto de cambio y variabilidad del agua y los acuerdos globales de desarrollo sostenible 73
4.2 Ejemplos de SbN para moderar los riesgos, la variabilidad y el cambio 76
4.3 Los desafíos para mejorar el potencial de las SbN en el contexto de la reducción de la variabilidad y el riesgo 89




**Capítulo 5 | Experiencias nacionales y regionales con implementación** **90**

5.1 Introducción 91

5.2 La implementación de las SbN a escala de cuenca 92

5.3 La implementación de las SbN en áreas urbanas 98

5.4 Marcos regionales y nacionales para las SbN 100

**Capítulo 6 | Posibilitar la incorporación acelerada de las SbN** **106**

6.1 Introducción 107

6.2 Aprovechamiento del financiamiento 108

6.3 Posibilitar el entorno regulatorio y jurídico 111

6.4 Mejora de la colaboración intersectorial y armonización de las políticas 112

6.5 Mejorar la base de conocimientos 114

6.6 Un marco común y criterios para la evaluación de opciones 117

**Capítulo 7 | Comprender el potencial de las SbN para el agua y el desarrollo sostenible** **118**

7.1 ¿Dónde nos encontramos ahora? 120

7.2 ¿Hasta dónde podemos llegar? 120

7.3 ¿Cómo podemos llegar a ese punto? 122

7.4 Cumplimiento de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible mediante las SbN para la gestión de los recursos hídricos 126

7.5 Conclusiones 126

**Referencias** **130**

**Abreviaturas y Siglas** **148**

**Cuadros, Figuras y Tablas** **150**

**Créditos fotográficos** **152**

# PRÓLOGO

por Audrey Azoulay, Directora General de la UNESCO

La gestión de los recursos hídricos requiere nuevas soluciones para contrarrestar los crecientes desafíos de la seguridad hídrica derivados del aumento de población y el cambio climático. Este informe propone una respuesta innovadora que, de hecho, ha existido durante miles de años: las Soluciones Basadas en la Naturaleza.

Hoy más que nunca debemos trabajar con la naturaleza, en lugar de en contra de la misma. La demanda de agua aumentará en todos los sectores. El desafío que todos debemos enfrentar es el de satisfacer esta demanda de una manera que no exacerbe los impactos negativos en los ecosistemas.

Es mucho lo que está en juego. Las tendencias actuales indican que alrededor de dos tercios de bosques y humedales se han perdido o degradado desde el inicio del siglo XX. El suelo se está erosionando y su calidad se está deteriorando. La contaminación del agua ha empeorado desde la década de 1990 en la mayoría de los ríos de África, Asia y América Latina.

Estas tendencias plantean desafíos más amplios, derivados del aumento del riesgo de inundaciones y sequías, lo que a su vez tiene un impacto en nuestra capacidad para adaptarnos al cambio climático. Sabemos también que la escasez de agua puede conducir a disturbios civiles, migraciones masivas e incluso conflictos dentro y entre los países.

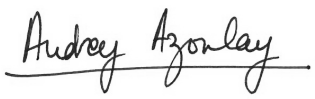
El Objetivo 6 de la *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* reconoce la importancia de garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento. Las soluciones basadas en la naturaleza son esenciales para la consecución de este objetivo.

Su impacto puede ser significativo: desde las estructuras de captación de agua a pequeña escala en Rajastán, India, que devolvieron el agua a 1.000 aldeas afectadas por la sequía, hasta el renacimiento de las prácticas tradicionales “hima” de gestión de la tierra, en la cuenca del río Zarqa, en Jordania, que producen mayor calidad del agua de manantial al no sobreexplotar el suelo.

Estas soluciones pueden contribuir igualmente a otros aspectos del desarrollo sostenible: desde garantizar la seguridad alimentaria y reducir el riesgo de desastres, hasta la construcción de asentamientos urbanos sostenibles e impulsar el trabajo decente. Asegurar el uso sostenible de los recursos del planeta es vital para garantizar la paz y la prosperidad a largo plazo.

Este *Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo* no argumenta que las soluciones basadas en la naturaleza sean una panacea, pero nuestra conclusión es clara: son una de las muchas herramientas importantes para efectuar la transición a un enfoque más holístico de la gestión hídrica.

Con este ánimo, deseo expresarles mi agradecimiento al Gobierno de Italia y a la Región de Umbría por su apoyo al Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO. El presente informe, coordinado por el WWAP con la asistencia del Programa Hidrológico Internacional, es fruto de la colaboración permanente de los miembros y socios de ONU-Agua. De igual manera, deseo darles las gracias a todos los actores involucrados por sus aportes y su compromiso con la promoción de la seguridad hídrica sostenible, que equilibra las necesidades humanas con el futuro de nuestro planeta.



Audrey Azoulay

# PRÓLOGO

por Gilbert F. Houngbo, Presidente de ONU-Agua y Director General del FIDA

Más de 2.000 millones de personas carecen de acceso al agua potable y más del doble no cuentan con acceso a servicios de saneamiento seguro. Debido al rápido crecimiento de la población mundial, se prevé que la demanda de agua aumente en casi un tercio para el año 2050. Ante un patrón de consumo acelerado, el creciente deterioro del medio ambiente y los impactos multifacéticos del cambio climático, es evidente que precisamos nuevas formas de gestión de la demanda de competencias para nuestros valiosos recursos de agua dulce.

En la edición de 2018 del Informe de las Naciones sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo (WWDR 2018) se indica que las soluciones pueden estar más cerca de lo que pensamos.

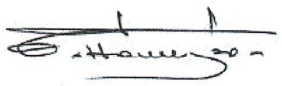
Desde su primera edición en 2003, el WWDR ha presentado la amplia perspectiva del sistema de Naciones Unidas sobre los asuntos relacionados con el agua y el saneamiento. Cada informe armoniza el conocimiento actualizado y el contenido basado en la ciencia con mensajes de política equilibrados. El informe de este año, que marca los 15 años de existencia oficial de ONU-Agua, mira tanto hacia adelante como hacia atrás.

Durante mucho tiempo, el mundo ha recurrido en primer lugar a la infraestructura construida o "gris" para mejorar la gestión de los recursos hídricos. Al hacerlo, frecuentemente ha dejado de lado el conocimiento tradicional e indígena que adopta enfoques más ecológicos. Tres años después del inicio de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible ha llegado el momento de considerar nuevamente las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) para contribuir a la consecución de los objetivos de la gestión del agua.

El WWDR 2018 pone de manifiesto que, si trabajáramos con la naturaleza en lugar de en contra de la misma, mejoraría el capital natural y respaldaría una economía circular competitiva y eficiente en el uso de los recursos. Las SbN pueden ser rentables y, al mismo tiempo, proporcionar beneficios ambientales, sociales y económicos. Estos beneficios interrelacionados, que son la esencia del desarrollo sostenible, son fundamentales para la consecución de la Agenda 2030.

Esta publicación emblemática representa la contribución más importante de ONU-Agua a la campaña "Naturaleza para el Agua" que comenzará el 22 de marzo de 2018, Día Mundial del Agua. Como nuevo Presidente de ONU-Agua, me gustaría expresarles mi agradecimiento a mis colegas por sus valiosas contribuciones. De igual manera, le doy las gracias a la UNESCO y a su Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos por su papel fundamental en la producción.

Tengo la certeza de que este Informe servirá para inspirar las deliberaciones e impulsar la acción a todos los niveles que corresponda, para avanzar hacia una gestión más sostenible de los recursos hídricos.



Gilbert F. Houngbo

# PREFACIO

por Stefan Uhlenbrook, Coordinador del WWAP
and Richard Connor, Jefe de Redacción

Hace ya tiempo que se estableció la necesidad de garantizar un volumen adecuado de agua de calidad apropiada, para apoyar y mantener los ecosistemas saludables. Sin embargo, la naturaleza también juega un papel único y fundamental a la hora de regular las diferentes funciones del ciclo del agua, en el que puede actuar como regulador, limpiador y/o proveedor de agua. Como tal, mantener los ecosistemas saludables se traduce directamente en una mejor seguridad hídrica para todos.

Como el quinto de una serie de informes de carácter temático que se publican todos los años, la edición de 2018 del Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo (WWDR) se centra en las oportunidades para aprovechar los procesos naturales que regulan diferentes elementos del ciclo del agua, que en conjunto se conocen como Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) para el agua. Esto no representa meramente una "buena idea" (que por supuesto lo es), sino un paso esencial para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos y de los múltiples beneficios que brinda el agua, que van desde la seguridad alimentaria y energética hasta la salud humana y el desarrollo socioeconómico sostenible.

Existen distintos tipos de SbN para el agua, que abarcan desde la escala micro o personal (p. ej., un inodoro seco) hasta las aplicaciones a nivel de paisaje, que incluyen la agricultura de conservación. Existen las SbN que son apropiadas para entornos urbanos (p. ej., muros verdes, jardines en azoteas e infiltraciones con vegetación o cuencas de drenaje), así como para entornos rurales, que a menudo constituyen la mayor parte de la superficie de una cuenca fluvial.

Sin embargo, a pesar de los recientes avances en la adopción de las SbN, la gestión de los recursos hídricos sigue dependiendo en gran medida de la infraestructura construida por el hombre ("gris"). La idea no trata necesariamente de reemplazar la infraestructura gris por infraestructura verde, sino de identificar el equilibrio más apropiado,rentable y sostenible entre la infraestructura gris y las SbN, teniendo en cuenta los múltiples objetivos y beneficios.

Aprovechar al máximo el potencial de la naturaleza para contribuir al logro de los tres objetivos principales de la gestión hídrica – aumentar la disponibilidad de los recursos hídricos, mejorar su calidad y reducir los riesgos relacionados con el agua – requerirá crear un ambiente propicio para el cambio, que implica marcos legales y regulatorios adecuados, mecanismos de financiamiento apropiados y aceptación social. Confiamos en que, con la voluntad política para hacerlo, los obstáculos actuales, como la falta de conocimiento, capacidad, datos e información sobre las SbN para el agua se puedan superar de manera eficaz.

Como se señala en el presente informe, existen varios mecanismos que se pueden utilizar para acelerar la adopción de las SbN para el agua. Se ha demostrado que los esquemas de pago por servicios ambientales y los bonos verdes generan una interesante rentabilidad y reducen la necesidad (y los costos) de una infraestructura más grande, a menudo más costosa, necesaria para la gestión de los recursos hídricos y la provisión de servicios de abastecimiento de agua y saneamiento.

Las SbN para el agua juegan un papel crucial en el cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, porque generan beneficios sociales, económicos y ambientales colaterales, incluyendo ámbitos como la salud humana y los medios de subsistencia, la seguridad alimentaria y energética, el crecimiento económico sostenible, los empleos decentes, la rehabilitación y mantenimiento de ecosistemas y la biodiversidad. El valor intrínseco de estos beneficios colaterales puede inclinar la balanza en favor de las inversiones en SbN.

La implementación de las SbN implica la participación de distintos grupos de actores, fomentando así el consenso y contribuyendo a la toma de conciencia sobre lo que las SbN realmente pueden ofrecer para mejorar la seguridad hídrica. Nos hemos esforzado en reflejar el estado actual del conocimiento de

manera equilibrada, factual y neutral, abarcando los desarrollos más recientes relacionados con las SbN para el agua y los diversos beneficios y oportunidades que ofrecen en términos de la mejora de la gestión sostenible de los recursos hídricos. Aunque está dirigido principalmente a los tomadores de decisiones y administradores del agua a nivel nacional, se espera que este informe también sea de interés para el conjunto de la comunidad promotora del desarrollo, así como para los académicos, profesionales y cualquier persona interesada en construir un futuro hídrico equitativo y sostenible con el apoyo de las SbN.

Esta última edición del WWDR es fruto del esfuerzo concertado entre las agencias líderes especializadas de FAO, PNUD, PNUMA, UNESCO-PHI, UNU-INWEH y WWAP, con material complementario sobre las perspectivas regionales proporcionado por CEPE, CEPAL, CESPAP, CESPAO y la Oficina Regional de la UNESCO en Abuja. El informe también contó con los aportes y contribuciones de varios miembros y socios de ONU-Agua, miembros del Comité Asesor Técnico del WWAP, así como de docenas de científicos, profesionales y ONG que proporcionaron una amplia gama de datos e información relevante.

En nombre de la Secretaría del WWAP, queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a las agencias, miembros y socios de ONU-Agua antes mencionados y a los autores y colaboradores gracias a cuyos aportes se ha logrado la producción colectiva de este informe único y fidedigno que esperamos tendrá múltiples impactos en todo el mundo. David Coates merece un reconocimiento especial por haber compartido generosamente sus conocimientos y sabiduría en el proceso de producción del informe. Le estamos profundamente agradecidos al gobierno italiano por financiar el Programa y a la Regione Umbria por acoger la Secretaría del WWAP en Villa La Colombella, en Perugia. Sus contribuciones han desempeñado un papel decisivo en la producción del WWDR.

Le agradecemos de manera especial a Audrey Azoulay, Directora General de la UNESCO, su apoyo vital al WWAP y a la producción del WWDR. La orientación por parte de Gilbert F. Houngbo, Presidente del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), como Presidente de ONU-Agua, ha hecho posible esta publicación.

Por último, pero no por ello menos importante, expresamos nuestra más sincera gratitud a todos nuestros colegas del Secretariado del WWAP, cuyos nombres figuran en los agradecimientos. El informe no podría haberse completado sin su profesionalismo y dedicación.



Stefan Uhlenbrook



Richard Connor

# EL EQUIPO DEL **WWDR 2018**

**Coordinador del WWAP**
Stefan Uhlenbrook

**Jefe de Redacción**
Richard Connor

**Coordinador de Procesos**
Engin Koncagül

**Asistente de publicación**
Valentina Abete

**Diseñador Gráfico**
Marco Tonsini

**Comité Asesor Técnico del WWAP**
Uri Shamir (Presidente), Dipak Gyawali (Vicepresidente), Fatma Abdel Rahman Attia, Anders Berntell, Elias Fereres, Mukuteswara Gopalakrishnan, Daniel P. Loucks, Henk van Schaik, Yui Liong Shie, Lászlo Somlyody, Lucio Ubertini y Albert Wright

**Secretaría del Programa de Evaluación Mundial del Agua de las Naciones Unidas (WWAP) en 2018**

*Coordinador:* Stefan Uhlenbrook
*Coordinador adjunta:* Michela Miletto
*Programas:* Richard Connor, Angela Renata Cordeiro Ortigara, Engin Koncagül y Lucilla Minelli
*Publicaciones:* Valentina Abete y Marco Tonsini
*Comunicaciones:* Simona Gallese y Laurens Thuy
*Administración:* Barbara Bracaglia, Arturo Frascani y Lisa Gastaldi*n*
*TI y seguridad:* Fabio Bianchi, Michele Brensacchi y Francesco Gioffredi

# AGRADECIMIENTOS

El Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP, por sus siglas en inglés) reconoce la valiosa contribución de la FAO, el PNUD, el PNUMA, el PHI de la UNESCO y la UNU-INWEH, cuyas aportaciones como agencias líderes especializadas hicieron posible la preparación del contenido del presente informe. Deseamos expresarles nuestro sincero agradecimiento a las Comisiones Económicas Regionales (CEPE, CEPAL, CESPAP, CESPAO) y a la Oficina Regional Multisectorial de la UNESCO en Abuja, por su contribución al Capítulo 5 sobre las Experiencias Nacionales y Regionales. Asimismo, nos gustaría darles las gracias a los miembros y socios de ONU-Agua y a todas las demás organizaciones y personas que aportaron observaciones y comentarios útiles durante todo el proceso de producción. Además, el WWDR 2018 se benefició de las revisiones realizadas por el Comité Técnico Asesor del WWAP.

El WWAP agradece la generosa contribución financiera del Gobierno de Italia, que permite el funcionamiento de la Secretaría del WWAP y la producción de la serie del WWDR, así como por las instalaciones que pone a disposición la Regione Umbria.

La versión en español del Informe fue posible gracias a la ANEAS (Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento) de México y sus miembros. Deseamos expresar igualmente nuestro agradecimiento a las oficinas locales de la UNESCO en Almatý, Pekín, Brasilia, El Cairo y Nueva Delhi por la traducción del Documento de Síntesis del WWDR 2018 al ruso, chino, portugués, árabe e hindi. Gracias a la valiosa colaboración entre la Agencia Nacional del Agua (ANA) y la Oficina de la UNESCO en Brasil, el idioma portugués se ha incluido en la serie de traducciones.



# RESUMEN EJECUTIVO



Humedal en el sur de la bahía de San Francisco (EE. UU.)



Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) están inspiradas y respaldadas por la naturaleza y utilizan o imitan los procesos naturales para contribuir a la gestión mejorada del agua. Una solución basada en la naturaleza puede implicar la conservación o rehabilitación de los ecosistemas naturales y/o la mejora o creación de procesos naturales en ecosistemas modificados o artificiales. Se pueden aplicar a microescala (por ejemplo, un inodoro seco) o a macroescala (por ejemplo, el paisaje).

La atención a las SbN ha aumentado de manera significativa en los últimos años. Esto se ha evidenciado a través de la incorporación de las SbN a una amplia gama de progresos legislativos, incluyendo los relacionados con los recursos hídricos, la seguridad alimentaria y la agricultura, la biodiversidad, el medio ambiente, la reducción del riesgo de desastres, los asentamientos urbanos y el cambio climático. Esta tendencia positiva ilustra una creciente convergencia de intereses en torno al reconocimiento de la necesidad de fijar objetivos comunes e identificar acciones de apoyo mutuo – tal como se explica mejor en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible a través del reconocimiento de la interdependencia de sus diversos objetivos y metas.

La ampliación de la escala de las SbN será fundamental para cumplir con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. La seguridad sostenible del agua no se logrará a través de enfoques convencionales. Las SbN trabajan con la naturaleza en lugar de hacerlo contra ella, y por tanto proporcionan un medio esencial para ir más allá de lo convencional e intensificar el aumento de eficiencia social, económica e hidrológica en la gestión de los recursos hídricos. Las SbN resultan especialmente prometedoras en cuanto a progresos en la producción sostenible de alimentos, la mejora de los asentamientos urbanos, el acceso

al suministro de agua potable y al saneamiento y la reducción del riesgo de desastres relacionados con el agua. También pueden ayudar a responder a los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos.

Las SbN apoyan una *economía circular*, restauradora y regeneradora por diseño, y fomentan una mayor productividad de los recursos para reducir su desperdicio y evitar la contaminación, incluso a través de la reutilización y el reciclaje de los mismos. Las SbN también respaldan los conceptos de *crecimiento verde* o *economía verde*, que promueven el uso sostenible de los recursos naturales y el aprovechamiento de los procesos naturales para sustentar las economías. La aplicación de las SbN al agua también genera beneficios colaterales de carácter social, económico y medioambiental, que incluyen mejoras de la salud humana y los medios de subsistencia, el desarrollo económico sostenible, empleos decentes, la rehabilitación y mantenimiento de los ecosistemas y la protección y mejora de la biodiversidad. El valor de algunos de estos beneficios colaterales puede ser sustancial y decisivo a la hora de inclinar la balanza de las inversiones a favor de las SbN.

Sin embargo, pese al largo historial y a la creciente experiencia en la aplicación de SbN, aún hay muchos casos en que la política y gestión de los recursos hídricos ignoran las opciones relacionadas con las mismas — incluso cuando son evidentes y de eficacia probada. Por ejemplo, pese al rápido aumento de las inversiones en SbN, la evidencia sugiere que aún están muy por debajo del 1% de la inversión total en infraestructura de gestión de los recursos hídricos.

## El agua en el mundo: demanda, disponibilidad, calidad y eventos extremos

La demanda mundial de agua ha ido aumentando a un ritmo del 1% anual aproximadamente en función del aumento de población, el desarrollo económico y los cambios en los patrones de consumo, entre otros factores, y seguirá creciendo de manera significativa en las dos próximas décadas. La demanda industrial y doméstica de agua aumentará mucho más rápidamente que la demanda agrícola, aunque el sector agrícola seguirá siendo el principal consumidor de agua en el mundo. La gran mayoría de la creciente demanda de agua se producirá en países con economías emergentes o en desarrollo.

Al mismo tiempo, el ciclo global del agua se está intensificando debido al cambio climático: las regiones más húmedas se están volviendo más húmedas y las regiones secas se están volviendo aún más secas. En la actualidad, se estima que hay 3.600 millones de personas (casi la mitad de la población mundial) que viven en áreas con riesgo de sufrir escasez de agua al menos un mes al año, y esta población podría llegar a alcanzar entre 4.800 y 5.700 millones en 2050.

Desde los años 90, la contaminación del agua no ha hecho más que empeorar en casi todos los ríos de América Latina, África y Asia. Se espera que la calidad del agua se deteriore aún más en las próximas décadas, lo que aumentará las amenazas para la salud humana, el medio ambiente y el desarrollo sostenible. A nivel mundial, el desafío más frecuente al que se enfrenta la calidad del agua es la carga de nutrientes, que según la región se asocia a menudo con la carga de patógenos. Cientos de productos químicos afectan también a la calidad del agua. Se espera que los mayores aumentos en la exposición a contaminantes se den en los países de ingresos bajos y mediobajos, debido principalmente a un mayor crecimiento demográfico y económico y a la falta de sistemas de gestión de aguas residuales.

Las tendencias en cuanto a disponibilidad y calidad del agua van acompañadas de cambios previstos en los riesgos de inundaciones y sequías. Se prevé que el número de personas en riesgo debido a las inundaciones pase de los 1.200 millones actuales a alrededor de 1.600 millones en 2050 (aproximadamente el 20% de la población mundial). Se estima que la población actualmente afectada por el deterioro de la tierra/desertificación y la sequía asciende a 1.800 millones de personas, convirtiéndola en la categoría más significativa de “desastre natural” basándose en la mortalidad y el impacto socioeconómico en relación al producto interno bruto (PIB) per cápita.

La degradación de los ecosistemas es una de las principales causas del aumento de los desafíos en la gestión de los recursos hídricos. Pese a que aproximadamente el 30% de la superficie global de las tierras siguen siendo boscosas, al menos dos terceras partes de esta área se encuentran en estado degradado. La mayoría de los recursos mundiales del suelo, especialmente en terrenos de cultivo, se hallan en condiciones justas, malas o muy malas, y las perspectivas actuales dejan entrever un empeoramiento de la situación, con graves consecuencias en el ciclo del agua debido a tasas de evaporación más altas, menor capacidad de retención del agua por parte del suelo y aumento de la escorrentía superficial, acompañada de una mayor erosión. Desde el año 1900 se estima que se ha perdido entre el 64 y el 71% de la superficie mundial de humedales naturales debido a la actividad humana. Todos estos cambios han tenido importantes impactos negativos en la hidrología a escala local, regional y global.

Existen evidencias de que, a lo largo de la historia, dichos cambios en los ecosistemas han contribuido a la desaparición de varias antiguas civilizaciones. Una pregunta que deberíamos plantearnos hoy en día es si podemos evitar el mismo destino. La respuesta a esta pregunta dependerá, por lo menos en parte, de nuestra capacidad para pasar de trabajar contra la naturaleza a trabajar con ella, por ejemplo, mediante un mejor uso de las SbN.

## Degradación de los ecosistemas

La degradación de los ecosistemas es una de las principales causas del aumento de los desafíos en la gestión de los recursos hídricos. Pese a que aproximadamente el 30% de la superficie global de las tierras siguen siendo boscosas, al menos dos terceras partes de esta área se encuentran en estado degradado. La mayoría de los recursos mundiales del suelo, especialmente en terrenos de cultivo, se hallan en condiciones justas, malas o muy malas, y las perspectivas actuales dejan entrever un empeoramiento de la situación, con graves consecuencias en el ciclo del agua debido a tasas de evaporación más altas, menor capacidad de retención del agua por parte del suelo y aumento de la escorrentía superficial, acompañada de una mayor erosión. Desde el año 1900 se estima que se ha perdido entre el 64 y el 71% de la superficie mundial de humedales naturales debido a la actividad humana. Todos estos cambios han tenido importantes impactos negativos en la hidrología a escala local, regional y global.

Existen evidencias de que, a lo largo de la historia, dichos cambios en los ecosistemas han contribuido a la desaparición de varias antiguas civilizaciones. Una pregunta que deberíamos plantearnos hoy en día es si podemos evitar el mismo destino. La respuesta a esta pregunta dependerá, por lo menos en parte, de nuestra capacidad para pasar de trabajar contra la naturaleza a trabajar con ella, por ejemplo, mediante un mejor uso de las SbN.

## El papel de los ecosistemas en el ciclo del agua

Los procesos ecológicos en el paisaje influyen en la calidad del agua y la forma en que se mueve a través de un sistema, así como en la formación del suelo, la erosión y el transporte y el depósito de sedimentos, todo lo cual puede ejercer una influencia importante en la hidrología. Aunque los bosques son a menudo el principal centro de atención cuando se habla de cobertura del suelo e hidrología, los prados y las tierras de cultivo también juegan papeles importantes. Los suelos son cruciales para el control del movimiento, el almacenaje y la transformación del agua. La biodiversidad tiene un papel funcional en las SbN, visto que es la base de los procesos y funciones de los ecosistemas, y por tanto, de la prestación de los servicios de dicho ecosistema.

Los ecosistemas tienen una influencia importante en el reciclaje de la precipitación desde una escala local, hasta una continental. En lugar de considerarse como "consumidora" de agua, la vegetación es vista más bien como "recicladora" de agua. Globalmente, hasta el 40% de las precipitaciones de la tierra tienen su origen en la transpiración de las plantas a barlovento y en otras evaporaciones terrestres. Esta fuente representa la mayoría de las precipitaciones en algunas regiones. Por tanto, las decisiones relacionadas con el uso de la tierra en un lugar determinado pueden tener consecuencias importantes para los recursos hídricos, las personas, la economía y el medio ambiente en lugares distantes, lo que apunta a las limitaciones de la cuenca hidrográfica (en oposición a la "cuenca de precipitación") como base para la gestión.

*La infraestructura verde* (para el agua) utiliza sistemas naturales o seminaturales como las SbN para proporcionar opciones de gestión de los recursos hídricos con beneficios equivalentes o similares a las infraestructuras convencionales "grises" (construidas/físicas) de agua. En algunas situaciones, los enfoques basados en la naturaleza pueden ofrecer la principal o la única solución viable (por ejemplo, la restauración del paisaje para luchar contra la degradación de la tierra y la desertificación), mientras que para otros propósitos solo funcionará una solución construida (por ejemplo, suministrar agua a una vivienda mediante tuberías y grifos). En la mayor parte de los casos, sin embargo, las infraestructuras verdes y grises pueden y deben funcionar juntas. Algunos de los mejores ejemplos del despliegue de SbN están donde mejoran el rendimiento de la infraestructura construida. La situación actual, con una infraestructura gris obsoleta, inapropiada o insuficiente en todo el mundo, crea oportunidades para las SbN como soluciones innovadoras que incorporan perspectivas de servicios ecosistémicos, mayor resiliencia y consideraciones relacionadas con los medios de vida en la planificación y gestión del agua.

Una característica clave de las SbN es que tienden a ofrecer grupos de varios servicios ecosistémicos a la vez, aunque la actuación solo tenga uno como objetivo. De ahí que las SbN suelan ofrecer múltiples prestaciones relacionadas con el agua y a menudo ayuden a afrontar la cantidad, calidad y riesgos del agua de forma simultánea. Otra ventaja clave de las SbN es la forma en que contribuyen a crear resiliencia sistémica generalizada.

## Las SbN para gestionar la disponibilidad de agua

Las SbN abordan el suministro de agua principalmente mediante la gestión de las precipitaciones, la humedad y el amacenamiento, la infiltración y la transmisión del agua, de modo que se llevan a cabo mejoras en la localización, temporización y cantidad de agua disponible para las necesidades humanas.

La opción de construir más embalses está cada vez más limitada por la sedimentación, la disminución de la escorrentía disponible, las preocupaciones y restricciones medioambientales y el hecho de que en muchos países

desarrollados ya se han utilizado los emplazamientos más rentables y viables. En muchos casos, formas de almacenamiento del agua más amigables con los ecosistemas, como son los humedales naturales, mejoras en la humedad del suelo y una recarga más eficiente de las aguas subterráneas, podrían ser más sostenibles y rentables que las infraestructuras grises como las presas.

La agricultura va a tener que satisfacer los aumentos previstos en la demanda de alimentos, mejorando la eficiencia de su uso de los recursos y reduciendo a la vez su huella externa, y el agua es fundamental para esta necesidad. Una piedra angular de las soluciones reconocidas es la "intensificación ecológica sostenible" de la producción de alimentos, que mejora los servicios de los ecosistemas en los paisajes agrícolas, por ejemplo, a través de la gestión mejorada del suelo y la vegetación. La "agricultura de conservación", que incorpora prácticas destinadas a minimizar el estrés del suelo, mantener la cobertura del suelo y regularizar la rotación de cultivos, es un ejemplo emblemático de abordaje de la intensificación sostenible de la producción. Los sistemas agrícolas que rehabilitan o conservan los servicios de los ecosistemas pueden ser tan productivos como los sistemas intensivos de alto aporte, pero con externalidades significativamente reducidas. Aunque las SbN ofrecen ventajas importantes en cuanto al riego, las principales oportunidades para aumentar la productividad residen en los sistemas de secano, que representan la mayor parte de la producción actual y la agricultura familiar (y por lo tanto proporcionan las mayores ventajas en cuanto a medios de vida y reducción de la pobreza). Los avances teóricos que podrían lograrse a escala mundial rebasan los aumentos previstos en la demanda global de agua, por lo que podrían reducir los conflictos entre los distintos usos.

Las SbN para abordar la disponibilidad de agua en los asentamientos urbanos también son sumamente importantes, dado a que en la actualidad la mayoría de la población mundial vive en las ciudades. Las infraestructuras urbanas verdes, incluidos los edificios verdes, son un fenómeno emergente que está estableciendo nuevos puntos de referencia y estándares técnicos que abarcan muchas SbN. Las empresas y la industria también están fomentando cada vez más las SbN para mejorar la seguridad del agua para sus operaciones, empujadas por un argumento empresarial convincente.

## SbN para la gestión de la calidad del agua

La protección de las fuentes de agua reduce los costes de tratamiento del agua para los proveedores urbanos y contribuye a mejorar el acceso al agua potable en las comunidades rurales. Los bosques, los humedales y las praderas, así como los suelos y los cultivos, si se manejan adecuadamente, juegan un papel importante en la regulación de la calidad del agua al reducir la carga de sedimentos, capturar y retener contaminantes y reciclar los nutrientes. Allí donde el agua está contaminada, tanto los ecosistemas construidos como los naturales pueden ayudar a mejorar la calidad del agua.

La contaminación de fuentes no puntuales (difusa) provocada por la agricultura, especialmente los nutrientes, sigue siendo un problema crítico en todo el mundo, incluso en los países desarrollados. Es también uno de los que más se adaptan a las soluciones naturales, ya que estas pueden rehabilitar los servicios del ecosistema que permiten que los suelos mejoren la gestión de los nutrientes, y por tanto disminuyen la demanda de fertilizantes y reducen la escorrentía y/o infiltración de nutrientes a las aguas subterráneas.

La infraestructura verde urbana se utiliza cada vez más para gestionar y reducir la contaminación provocada por la escorrentía urbana. Los ejemplos incluyen muros verdes, jardines en azoteas y cuencas de infiltración o drenaje cubiertas de vegetación para contribuir al tratamiento de las aguas residuales y reducir la escorrentía de las aguas pluviales. También se utilizan los humedales en entornos urbanos para mitigar el impacto de la escorrentía de las aguas pluviales y las aguas residuales contaminadas. Los humedales, tanto naturales como construidos, también contribuyen a la biodegradación o inmovilización de toda una gama de contaminantes emergentes, incluidos ciertos productos farmacéuticos, y a menudo funcionan mejor que las soluciones grises. Para ciertos productos químicos pueden ser la única solución.

Existen límites a la forma en que pueden funcionar las SbN. Por ejemplo, las opciones que ofrecen las SbN para el tratamiento de las aguas residuales industriales dependen del tipo de contaminante y de la cantidad que contengan. Para muchas fuentes de agua contaminada, puede seguir siendo necesario adoptar soluciones de infraestructura gris. Sin embargo, las aplicaciones industriales de las SbN, en particular los humedales construidos para el tratamiento de las aguas residuales industriales, están aumentando.

## Las SbN para manejar riesgos relacionados con el agua

Los riesgos y desastres relacionados con el agua, como las inundaciones y sequías asociadas a una creciente variabilidad temporal de los recursos hídricos debido al cambio climático, provocan pérdidas humanas y económicas inmensas y cada vez mayores a nivel mundial. Se calcula que alrededor del 30% de la población mundial vive en áreas y regiones que sufren los efectos de inundaciones y sequías de manera habitual. La degradación de los ecosistemas es la causa principal del aumento de los riesgos y fenómenos extremos relacionados con el agua, y reduce la capacidad de aprovechar plenamente el potencial de las SbN.

La infraestructura verde puede desempeñar unas funciones significativas a la hora de reducir riesgos. Combinando infraestructuras verdes y grises es posible conseguir una reducción de costes y mejorar sensiblemente la reducción general de los riesgos. Las SbN para la gestión de las inundaciones pueden incluir la retención del agua mediante la gestión de las infiltraciones, los flujos superficiales y por consiguiente la conectividad hidrológica entre los componentes del sistema y el transporte del agua a través del mismo, creando espacios para almacenar el agua mediante llanuras inundables, por ejemplo. El concepto de "vivir con inundaciones", que entre otras cosas incluye toda una serie de enfoques estructurales y no estructurales que ayudan a "estar preparados" para una inundación, puede facilitar la aplicación de SbN apropiadas para reducir las pérdidas debidas a las inundaciones, y lo que es más importante, los riesgos de inundación.

Combinando infraestructuras verdes y grises es posible conseguir una reducción de costes y mejorar sensiblemente la reducción general de los riesgos Las sequías no están limitadas a las áreas secas, como se sugiere a veces a veces, sino que también pueden suponer un riesgo de desastre en regiones que normalmente no padecen escasez de agua. La combinación de SbN para paliar la sequía es esencialmente la misma que para la disponibilidad de agua, y apunta a mejorar la capacidad de almacenar agua en los paisajes, incluyendo los suelos y las aguas subterráneas, para amortiguar los períodos de extrema escasez. La variabilidad estacional de las precipitaciones crea oportunidades para almacenar agua en el paisaje con el fin de proporcionar agua tanto a los ecosistemas como a las personas durante los períodos más secos. El potencial de almacenamiento natural de agua (particularmente en el subsuelo, en los acuíferos) para reducir el riesgo de desastres está lejos de haber sido alcanzado. La planificación del almacenamiento a escala regional y de las cuencas fluviales debería tomar en consideración una cartera de opciones de almacenamiento superficiales y subterráneas (y sus combinaciones) para llegar a los mejores resultados ambientales y económicos frente a la creciente variabilidad de los recursos hídricos.

## Las SbN para mejorar la seguridad del agua: multiplicar los beneficios

Las SbN pueden mejorar la seguridad general del agua al mejorar la disponibilidad y calidad de la misma, reduciendo al mismo tiempo los riesgos relacionados con el agua y generando beneficios colaterales sociales, económicos y ambientales adicionales. Permiten identificar resultados mutuamente beneficiosos en todos los sectores. Por ejemplo, las SbN en la agricultura empiezan a ser muy corrientes porque brindan una mayor productividad y rentabilidad agrícola sostenible, pero también mejoran los beneficios generales de todo el sistema, como por ejemplo una mejor disponibilidad de agua y una reducción de la contaminación aguas abajo. La restauración y protección de las cuencas hidrográficas ha ido cobrando importancia en el contexto de los múltiples desafíos a los que hay que hacer frente para mantener el suministro de agua a ciudades que crecen rápidamente reduciendo los riesgos en las mismas. La infraestructura verde urbana puede dar buenos resultados en términos de agua disponible, calidad del agua y reducción de las inundaciones y las sequías. En el contexto del agua y el saneamiento, los humedales construidos para el tratamiento de las aguas residuales pueden ser una solución naturalrentable que proporcione efluentes de calidad adecuada para varios usos no potables, incluido el riego, además de ofrecer beneficios adicionales, incluida la producción de energía.

## Desafíos y limitaciones

Los desafíos para mejorar las SbN para que alcancen todo su pleno y significativo potencial son algo genéricos en todos los sectores y a escala mundial, regional o local. Sigue existiendo una inercia histórica contra las SbN debido al continuo y abrumador dominio de las soluciones de infraestructura gris en los instrumentos actuales de los Estados miembros — desde las políticas públicas hasta los códigos y normas de construcción. Este dominio también puede existir en la ingeniería civil, los instrumentos económicos basados en el mercado, la experiencia de los proveedores de servicios y, por consiguiente, en las mentes de los responsables de las políticas y el público en general. Estos y otros factores dan como resultado colectivamente que las SbN se perciban a veces como menos eficientes o más arriesgadas que los sistemas construidos (grises).

Las SbN requieren a menudo la cooperación entre múltiples instituciones y partes interesadas, algo que puede resultar difícil de realizar. Los acuerdos institucionales actuales no han evolucionado teniendo en cuenta la cooperación en materia de SbN. Hay una falta de conciencia, comunicación y conocimiento a todos los niveles, desde las comunidades hasta los planificadores regionales y los responsables de las políticas nacionales, de lo que las SbN pueden ofrecer realmente. La situación puede verse agravada si no se entiende cómo integrar las infraestructuras verdes y grises a escala y por la falta de capacidad de poner en práctica las SbN en el contexto del agua. Siguen existiendo mitos y/o incertidumbres acerca del funcionamiento de la infraestructura natural o verde y sobre lo que significan los servicios del ecosistema en términos prácticos. Tampoco está del todo claro, a veces, qué es lo que constituye una SbN. Hay una falta de orientación técnica, herramientas y enfoques para determinar la combinación ideal de las opciones de SbN e infraestructura gris. Las funciones hidrológicas de ecosistemas naturales, como los humedales y las llanuras de inundación, se entienden mucho menos que las que

proporcionan las infraestructuras grises. Por consiguiente, las SbN se dejan aún más de lado en la evaluación de políticas y en la planificación y gestión de los recursos naturales y el desarrollo. Esta situación se ve agravada en parte por una investigación y desarrollo insuficientes en SbN, y en particular por la falta de evaluaciones imparciales y robustas de la experiencia actual en SbN, especialmente en términos de su rendimiento hidrológico, y análisis de costes y beneficios en comparación o conjuntamente con soluciones grises.

Hay límites a lo que pueden lograr los ecosistemas, y tienen que identificarse mucho mejor. Por ejemplo, los "puntos de inflexión" superados los cuales el cambio negativo de un ecosistema es irreversible están bien teorizados pero raramente cuantificados. Por tanto, es necesario reconocer la capacidad de carga limitada de los ecosistemas y determinar los umbrales en que cualquier estrés adicional (por ejemplo, la añadidura de contaminantes y sustancias tóxicas) va a provocar un daño irreversible al ecosistema. El elevado grado de variación de los impactos de los ecosistemas en la hidrología (dependiendo del tipo o subtipo de ecosistema, de la ubicación y condición, del clima y la gestión) aconseja evitar ideas generalizadas acerca de las SbN. Por ejemplo, los árboles pueden aumentar o disminuir la recarga de agua subterránea según su tipo, densidad, ubicación, tamaño y edad. Los sistemas naturales son dinámicos y sus papeles e impactos cambian con el tiempo.

Una afirmación a menudo exagerada sobre las SbN es que son "rentables", cuando esto debería establecerse durante una evaluación que tuviera en cuenta los beneficios colaterales. Mientras que algunas aplicaciones de SbN a pequeña escala pueden ser de bajo coste o incluso sin coste, algunas otras, en particular a mayor escala, pueden precisar grandes inversiones. Los costes de rehabilitación de un ecosistema, por ejemplo, pueden variar mucho, desde unos pocos cientos hasta varios millones de dólares por hectárea. El conocimiento específico del sitio a la hora de desplegar las SbN sobre el terreno es esencial, pero a menudo inadecuado. Ahora que las SbN son objeto de mayor atención, quienes las practican tienen que aumentar sus conocimientos de las mismas para respaldar la toma de decisiones y evitar exagerar los resultados de ellas, con el fin de que no se desperdicie este nuevo ímpetu.

## Respuestas – Crear las condiciones propicias para acelerar la adopción de SbN

Las respuestas necesarias para hacer frente a estos desafíos implican esencialmente la creación de condiciones propicias para que las SbN se consideren a la par de otras opciones para la gestión de los recursos hídricos.

### *Movilizar la financiación*

Las SbN no requieren forzosamente recursos financieros adicionales, pero sí suelen implicar la necesidad de redirigir y hacer un uso más efectivo de los fondos existentes. Las inversiones en infraestructura verde se están movilizando gracias a que cada vez se reconoce más el potencial de los servicios de los ecosistemas para proporcionar soluciones a nivel de todo el sistema que hagan que las inversiones sean más sostenibles y rentables a lo largo del tiempo. A menudo las evaluaciones del rendimiento de las inversiones en SbN no tienen en cuenta estas externalidades positivas, al igual que las evaluaciones de las inversiones en infraestructura gris a menudo no tienen en cuenta todas sus externalidades ambientales y sociales negativas.

El pago por esquemas de servicios ambientales les proporciona incentivos monetarios y no monetarios a las comunidades, agricultores y propietarios de tierras particulares aguas arriba, para proteger, restaurar y conservar los ecosistemas naturales y adoptar prácticas agrícolas y de uso de la tierra sostenibles. Estas acciones generan beneficios a los usuarios del agua aguas abajo en forma de regulación del agua, control de inundaciones y control de la erosión y los sedimentos, entre otros, garantizando así un suministro de agua constante y de alta calidad y ayudando a reducir los costes de tratamiento del agua y mantenimiento de equipos.

El mercado emergente de "bonos verdes" muestra un potencial prometedor para movilizar la financiación de las SbN, y en particular demuestra que las SbN pueden dar buenos resultados cuando se evalúan en base a criterios rigurosos estandarizados de rendimiento de las inversiones. El sector privado también puede ser estimulado y guiado para avanzar en la adopción de las SbN en las áreas en que opera. Desarrollar la experiencia interna y la conciencia de la efectividad de las SbN así lo facilitará.

La transformación de la política agrícola representa una vía importante para financiar la adopción de nuevas SbN. Para ello es preciso superar el hecho de que la gran mayoría de los subsidios agrícolas, y probablemente la mayoría de los fondos públicos y casi todas las inversiones del sector privado en investigación y desarrollo agrícolas, apoyan la intensificación de la agricultura convencional, lo que incrementa la inseguridad hídrica. La incorporación del concepto de intensificación ecológica sostenible de la producción agrícola, que esencialmente implica el despliegue de SbN (por ejemplo, técnicas mejoradas de gestión del suelo y del paisaje), no solo es el camino reconocido para lograr la seguridad alimentaria, sino que también sería un gran avance en la financiación de SbN para el agua.

La evaluación de los beneficios colaterales de las SbN (a través de un análisis de costes y beneficios más holístico) es un paso esencial para lograr inversiones eficientes y aprovechar los recursos financieros en múltiples sectores. Al evaluar las opciones de inversión deben tenerse en cuenta todos los beneficios, no solo un conjunto limitado de resultados hidrológicos. Esto precisa un enfoque sistemático detallado, pero la evidencia muestra que conducirá a mejoras significativas en la toma de decisiones y en el rendimiento general del sistema.

### *Crear el entorno jurídico y reglamentario propicio*

La gran mayoría de los entornos jurídicos y reglamentarios actuales para la gestión del agua se desarrollaron en gran medida teniendo en cuenta los enfoques de la infraestructura gris. Por consiguiente, a menudo puede ser difícil adaptar las SbN a este marco. Sin embargo, en lugar de esperar cambios drásticos en los regímenes reglamentarios, se puede conseguir mucho promoviendo las SbN de forma más eficiente a través de los marcos existentes. En los lugares en que aún no existe una legislación propicia, identificar dónde y cómo las SbN pueden respaldar los enfoques de planificación existentes a distintos niveles puede ser un primer paso útil en este proceso.

La legislación nacional para facilitar la puesta en práctica de las SbN a nivel local es especialmente importante. Un número pequeño pero creciente de países han adoptado marcos normativos que promueven las SbN a nivel nacional. Por ejemplo, en Perú se adoptó un marco jurídico nacional para regular y monitorear la inversión en infraestructura verde. Los marcos regionales también pueden estimular el cambio. La Unión Europea, por ejemplo, ha aumentado significativamente las oportunidades para desplegar las SbN a través de la armonización de su legislación y de las políticas relacionadas con la agricultura, los recursos hídricos y el medio ambiente.

A nivel mundial, las SbN les ofrecen a los Estados miembros un medio para responder y utilizar los diversos acuerdos ambientales multilaterales (en particular el Convenio sobre Diversidad Biológica, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la Convención de Ramsar sobre los Humedales, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, marcos acordados para la seguridad alimentaria y el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático), al tiempo que se abordan los imperativos económicos y sociales. Un marco general para promover las SbN es la Agenda 2030 sobre Desarrollo Sostenible con sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

### *Mejorar la colaboración intersectorial*

Las SbN pueden precisar niveles mucho mayores de colaboración intersectorial e institucional que los abordajes de infraestructura gris, en particular cuando se aplican a escala de paisaje. Sin embargo, esto también puede abrir oportunidades para reunir a estos grupos bajo un enfoque o agenda común. En muchos países, el panorama de las políticas sigue estando muy fragmentado. Una mejor armonización de las políticas en todas las agendas económicas, ambientales y sociales es un requisito general por derecho propio.

Las SbN no son solo las beneficiarias de dicha armonización, sino también un medio para alcanzarla, debido a su capacidad de proporcionar múltiples y a menudo significativos beneficios colaterales que van más allá de los simples resultados hidrológicos. Los mandatos claros del más alto nivel político pueden acelerar de forma significativa la adopción de SbN y fomentar una mejor cooperación intersectorial.

### *Mejorar la base de conocimientos*

Mejorar la base de conocimientos sobre SbN, incluso en ciertos casos a través de una forma científica más rigurosa, es un requisito general esencial. La evidencia establecida ayuda a convencer a quienes toman las decisiones de la viabilidad de las SbN. Por ejemplo, una preocupación que se plantea con frecuencia es que las SbN tardan mucho tiempo en dar resultado, lo que implicaría que la infraestructura gris fuera más rápida. Sin embargo, la evidencia demuestra que este no es necesariamente el caso, y los plazos de tiempo para ofrecer beneficios pueden compararse favorablemente a los de las soluciones de infraestructura gris.

El conocimiento tradicional o de la comunidad local sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la interacción naturaleza–sociedad puede ser un activo importante. Es preciso mejorar la incorporación de este conocimiento a las evaluaciones y la toma de decisiones.

Una respuesta prioritaria es el desarrollo y puesta en práctica de criterios comunes en base a los cuales puedan evaluarse tanto las SbN como otras opciones para la gestión de los recursos hídricos. Pueden desarrollarse criterios generales comunes para una evaluación de las opciones de gestión de los recursos hídricos (por ejemplo, soluciones verdes comparadas con soluciones grises) caso por caso. La plena inclusión de todos los beneficios hidrológicos y otros beneficios colaterales y la gama completa de costes y beneficios de los servicios del ecosistema (para cualquier opción) es un requisito clave. A su vez, esto precisará que se alcance un consenso entre los diversos grupos interesados.

## La aportación potencial de las SbN para la gestión del agua para alcanzar los objetivos de la agenda 2030 sobre desarrollo sostenible

Las SbN ofrecen un alto potencial para contribuir al logro de la mayoría de los objetivos del ODS 6 (sobre el agua). Las áreas en que esta aportación se traduce en impactos directos positivos especialmente sorprendentes en otros ODS están, en relación con la seguridad hídrica, en el respaldo a la agricultura sostenible (ODS 2, especialmente la Meta 2.4), vidas saludables (ODS 3), construcción de infraestructura resiliente (relacionada con el agua) (ODS 9), asentamientos urbanos sostenibles (ODS 11) y reducción del riesgo de desastres (ODS 11, y en relación al cambio climático, ODS 13).

Los beneficios colaterales de las SbN son particularmente significativos en lo tocante a los objetivos relacionados con el ecosistema/medio ambiente, incluida la reducción de la presión del uso de la tierra en las áreas costeras y los océanos (ODS 14) y la protección de los ecosistemas y la biodiversidad (ODS 15). Algunas otras áreas en que los beneficios colaterales de las SbN presentan ventajas particularmente altas en términos de alcanzar los ODS incluyen otros aspectos de la agricultura; energía; crecimiento económico inclusivo y sostenible; empleo pleno y productivo y trabajo decente para todo el mundo; hacer que las ciudades y asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles; y luchar contra el cambio climático y sus consecuencias.

## Seguir avanzando

Es fundamental aumentar la adopción de SbN con el fin de hacer frente a los desafíos clave que plantea la gestión contemporánea de los recursos hídricos, y para mantener y mejorar la disponibilidad de agua y la calidad de la misma, reduciendo a la vez los riesgos relacionados con el agua. Si no se adoptan más rápidamente SbN, la seguridad hídrica seguirá disminuyendo, y probablemente lo haga de prisa. Las SbN ofrecen un medio vital para cambiar el status quo. Sin embargo, la necesidad y oportunidades para un mayor despliegue de SbN siguen subestimándose.

Los informes sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo han esgrimido constantemente argumentos a favor de la necesidad de que se produzca una profunda transformación en el modo en que se gestiona el agua. El reconocimiento inadecuado del papel de los ecosistemas en la gestión del agua refuerza la necesidad de una profunda transformación, y una mayor adopción de SbN proporciona el medio para lograrlo. Esta profunda transformación ya no puede ser solo una aspiración: el cambio debe acelerarse rápidamente y, lo que es más importante, debe traducirse en políticas plenamente operativas, con una acción mejorada a nivel local. El objetivo tiene que consistir en minimizar costes y riesgos y en maximizar los beneficios y la solidez del sistema, ofreciendo al mismo tiempo un rendimiento óptimo y adecuado al uso. Uno de los papeles de la política debería consistir en permitir que se tomen las decisiones correctas a nivel local a este respecto. Hemos empezado bien, aunque algo tarde, este proceso, pero aún queda mucho camino por recorrer.

## Conclusiones

A medida que la humanidad traza su rumbo a través del Antropoceno e intenta evitar las tragedias del pasado, adoptar SbN no solo es necesario para mejorar los resultados de la gestión del agua y lograr la seguridad hídrica, también es fundamental para garantizar la prestación de beneficios colaterales que son esenciales para todos los aspectos del desarrollo sostenible. Aunque las SbN no sean la panacea, jugarán un papel esencial a la hora de construir un futuro mejor, más luminoso, más seguro y más equitativo para todos.




ION
SS

# PRÓLOGO

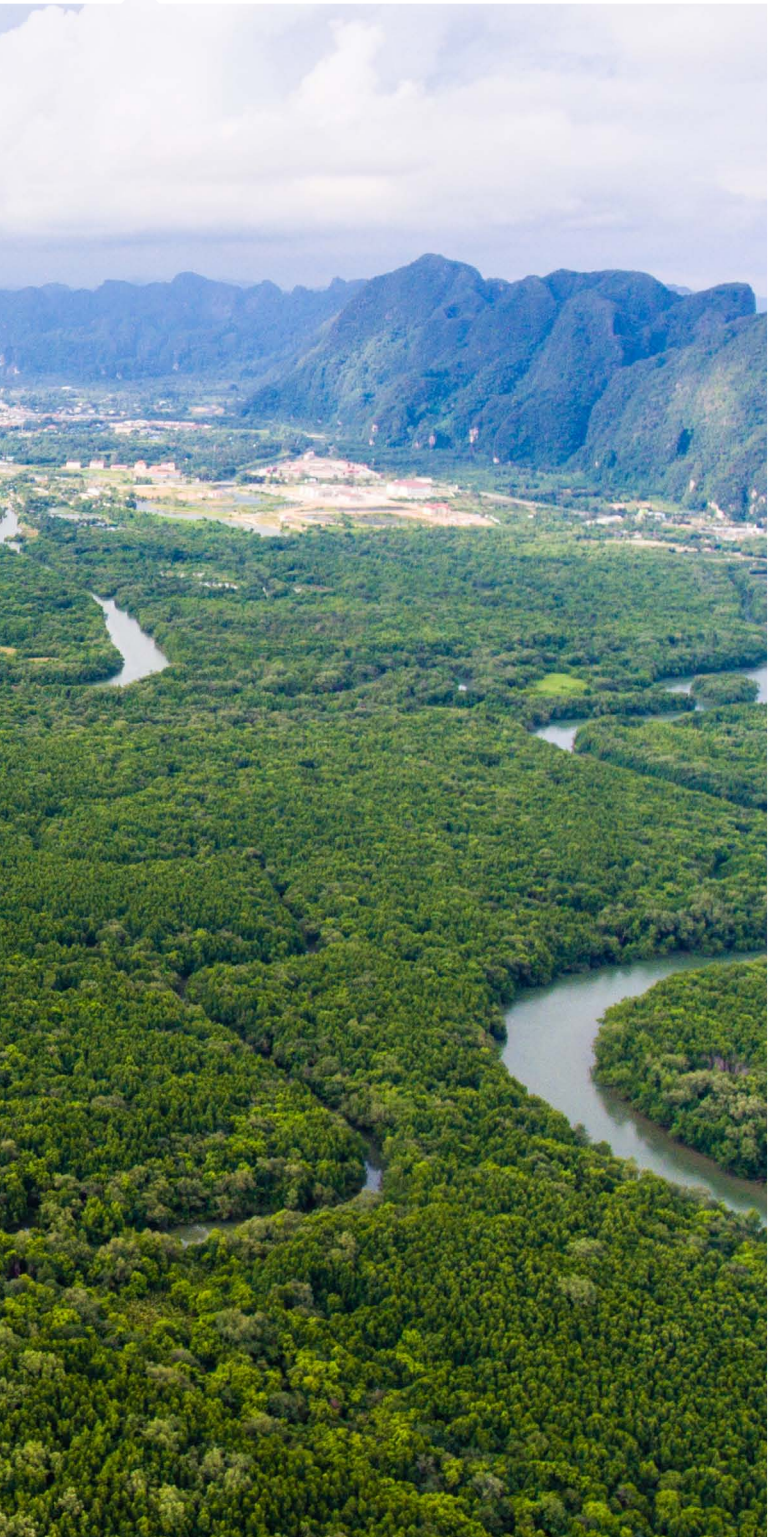
## EL ESTADO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL CONTEXTO DE LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA



**WWAP** | David Coates y Richard Connor

**Con aportes del:** Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA)

El bosque de manglar en la bahía de Phang-Nga (Tailandia)



Las tendencias actuales sobre la situación de los recursos hídricos se encuentran fundamentalmente de acuerdo a lo evaluado e identificado en los anteriores informes sobre el desarrollo de los recursos hídricos . El mundo sigue haciendo frente a múltiples y complejos desafíos hídricos, que está previsto que se intensifiquen en el futuro. El presente prólogo ahonda en dos aspectos de dichos desafíos de los recursos hídricos que son de especial relevancia para las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN). Primeramente, incluye una evaluación a nivel mundial de la situación actual y las tendencias de la demanda y disponibilidad de agua, los fenómenos extremos relacionados con el agua y la calidad de la misma, reconociendo que la gestión sostenible de los alimentos, la energía y el agua están profundamente interconectados y que estos vínculos deben ser evaluados. En segundo lugar, describe que los impactos del cambio de los ecosistemas en los recursos hídricos muestran claramente la necesidad de incluir los ecosistemas en este nexo entre el agua, la energía y la alimentación.

## Demanda de agua

El uso global del agua se ha multiplicado por seis en los últimos 100 años (Wada et al., 2016) y continúa creciendo de manera constante a una tasa aproximada del 1% anual (AQUASTAT, sin fecha). Se prevé que el uso de agua siga aumentando a nivel mundial en función del aumento de población, el desarrollo económico y los patrones de consumo cambiantes, entre otros factores.

Se calcula que la población mundial aumente de los 7.700 millones registrados en el 2017 a entre 9.400 y 10.200 millones para el año 2050, con dos tercios de la población viviendo en ciudades. Más de la mitad de este crecimiento previsto tendrá lugar en África (+1.300 millones), y Asia (+750 millones) será el segundo mayor contribuyente al aumento de población en el futuro (ONU DAES, 2017). Durante el mismo período (2017-2050), se espera que el producto interior bruto (PIB) a nivel mundial aumente 2,5 veces (OCDE, sin fecha), aunque

> La demanda mundial de agua seguirá creciendo durante las próximas dos décadas

con grandes diferencias entre y dentro de los países. Se prevé que la demanda mundial de producción agrícola y energética (principalmente alimentos y electricidad), donde ambas requieren un uso intensivo de agua, aumente aproximadamente en un 60% y 80% respectivamente para el año 2025 (Alexandratos y Bruinsma, 2012; OCDE, 2012). Al mismo tiempo, el ciclo global del agua se está intensificando debido al calentamiento global haciendo, en general, más húmedas las regiones húmedas y más secas las regiones más secas (IPCC, 2014). Estos aspectos del cambio global ponen de manifiesto la necesidad de una planificación inmediata y la estratégica, razonable y eficaz ejecución de la gestión, así como de medidas para contrarrestar el deterioro de la seguridad hídrica[1] (Burek et al., 2016).

La demanda mundial de agua contemporánea se ha estimado en alrededor de 4.600 $Km^3$/año y se prevé que aumente entre un 20% y un 30%, es decir, entre 5.500 y 6.000 $Km^3$/año para el 2050 (Burek et al., 2016). Sin embargo, *"las estimaciones a escala global son complicadas debido a los pocos datos de observación disponibles y las interacciones de una combinación de importantes factores políticos, económicos, sociales y ambientales, como el cambio climático global, el crecimiento demográfico, el cambio de uso del suelo, la globalización y el desarrollo económico, las innovaciones tecnológicas, la estabilidad política y el alcance de la cooperación internacional. Debido a estas interconexiones, la gestión local del agua tiene impactos a escala mundial, y los acontecimientos globales tienen impactos locales "*. (Wada et al., 2016, pág. 176).

La agricultura representa aproximadamente el 70% de las extracciones de agua a nivel mundial, de las cuales la gran mayoría se utilizan para el riego. No obstante, la estimación global de la demanda anual de agua para riego está plagada de incertidumbre. Esto no solo se debe a la falta de monitoreo e información sobre el agua utilizada para el riego, sino también a la naturaleza intrínsecamente errática de la práctica en sí misma. La cantidad de agua utilizada para el riego en un momento dado variará en función del tipo de cultivo y sus diferentes temporadas agrícolas, y también dependerá de las prácticas de cultivo y la variabilidad en el suelo local y las condiciones climáticas, sin mencionar los cambios en el área de tierra equipada para el riego. La eficiencia de las diferentes técnicas de riego también tendrá un impacto directo en el uso general del agua. Esto hace que sea tan difícil la proyección de la demanda de agua de riego en el futuro. Por ejemplo, mientras que Burek et al. (2016) han previsto para el año 2050 un aumento de la demanda mundial de agua para riego de entre el 23% y el 42% por encima del nivel registrado en 2010, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2011a) estimó un aumento de las extracciones de agua para riego del 5,5% en el período 2008-2050. Citando aumentos anticipados en la eficiencia del agua de riego, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2012) pronosticó una ligera disminución en el uso del agua de riego durante el período 2000-2050.

En un escenario sin cambios e independientemente de cualquier incremento en la demanda de agua para la agricultura, satisfacer el aumento estimado del 60% de la demanda alimentaria requerirá la expansión de las tierras cultivables. Bajo las prácticas de gestión actuales, la intensificación de la producción implica un aumento de la perturbación mecánica del suelo y de los insumos de agua, energía y agroquímicos. Estos factores, asociados con los sistemas alimentarios, son responsables del 70% de la pérdida de la biodiversidad terrestre prevista para el 2050 (Leadley et al., 2014). Sin embargo, estos impactos, incluyendo las necesidades de más tierra y agua, podrían evitarse en gran medida si una mayor intensificación de la producción agrícola se basara en la intensificación ecológica que implique la mejora de los servicios ecosistémicos para reducir los insumos externos. (FAO, 2011b).

El uso del agua por parte de la industria, que representa aproximadamente el 20% de las extracciones globales, está predominantemente destinado a la producción de energía, la cual es responsable de alrededor del 75% de las extracciones de agua de este sector, mientras que el 25% restante se destina a la producción. (WWAP, 2014). Las estimaciones de Burek et al. (2016) sugieren que la demanda general de agua por parte de la industria aumentará en todas las regiones del mundo, con excepción de América del Norte y Europa Occidental y meridional. La demanda industrial podría aumentar hasta ocho veces (en términos relativos) en regiones como África Occidental, Central, Oriental y Meridional, donde actualmente las industrias representan una proporción muy pequeña en el uso total del agua, mientras que en el sur, centro y este de Asia se espera un aumento significativo (hasta dos veces y media) (Burek

[1] La seguridad hídrica se define como "la capacidad de la población de salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas y de calidad aceptable de agua para sostener los medios de subsistencia, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para garantizar la protección contra la contaminación del agua y los desastres relacionados con el agua, y para preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política" (ONU-Agua, 2013).

et al., 2016). La OCDE (2012) estima que la demanda de agua para la industria manufacturera aumentará un 400% durante el período del 2000 al 2050, y que habrá un incremento de una quinta parte de la extracción mundial de agua destinada a la producción de energía durante el período del 2010 al 2035, mientras que el consumo de agua podría crecer en un 85% impulsado por la transición hacia plantas de energía más eficientes con sistemas de refrigeración más avanzados (que reducen las extracciones de agua pero aumentan el consumo) y un incremento de la producción de biocombustibles (AIE, 2012). Chaturvedi et al. (2013) consideran que restringir la producción de bioenergía a tierras de cultivo marginales no irrigadas o abandonadas podría aliviar los impactos negativos sobre la producción y los precios de los alimentos, el uso del agua y la biodiversidad.

Se espera también que la demanda para uso doméstico, que representa aproximadamente el 10% restante de las extracciones mundiales de agua, aumente significativamente durante el período de 2010 a 2050 en casi todas las regiones del mundo, con la excepción de Europa Occidental, donde se mantiene constante. En términos relativos, se prevé que los mayores incrementos en la demanda interna se den en las subregiones de África y Asia, donde podría más que triplicarse, mientras que en Centro y Sudamérica podría más que duplicarse (Burek et al., 2016). Este crecimiento anticipado se puede atribuir principalmente a un aumento previsto de los servicios de abastecimiento de agua en los asentamientos urbanos.

En resumen, la demanda mundial de agua seguirá creciendo significativamente durante las próximas dos décadas. La demanda de agua para usos industrial y doméstico probablemente crecerá mucho más rápido que la demanda para uso agrícola, aunque la agricultura seguirá siendo el mayor usuario en lo general. Rosegrant et al. (2002) han pronosticado que "por primera vez en la historia mundial", el incremento absoluto de la demanda de agua no agrícola excederá el incremento de la demanda agrícola, lo que provocará una caída de la participación de la agricultura en el consumo total de agua en los países en desarrollo del 86% en 1995 al 76% en 2025. Estas proyecciones ponen de relieve la importancia de abordar los desafíos hídricos que enfrenta la agricultura, donde la demanda agrícola de agua y la competencia por ella aumentarán. Las opciones de desarrollo agrícola elegidas serán el factor más decisivo para determinar el futuro de la seguridad hídrica en la agricultura y otros sectores.

## Disponibilidad de agua

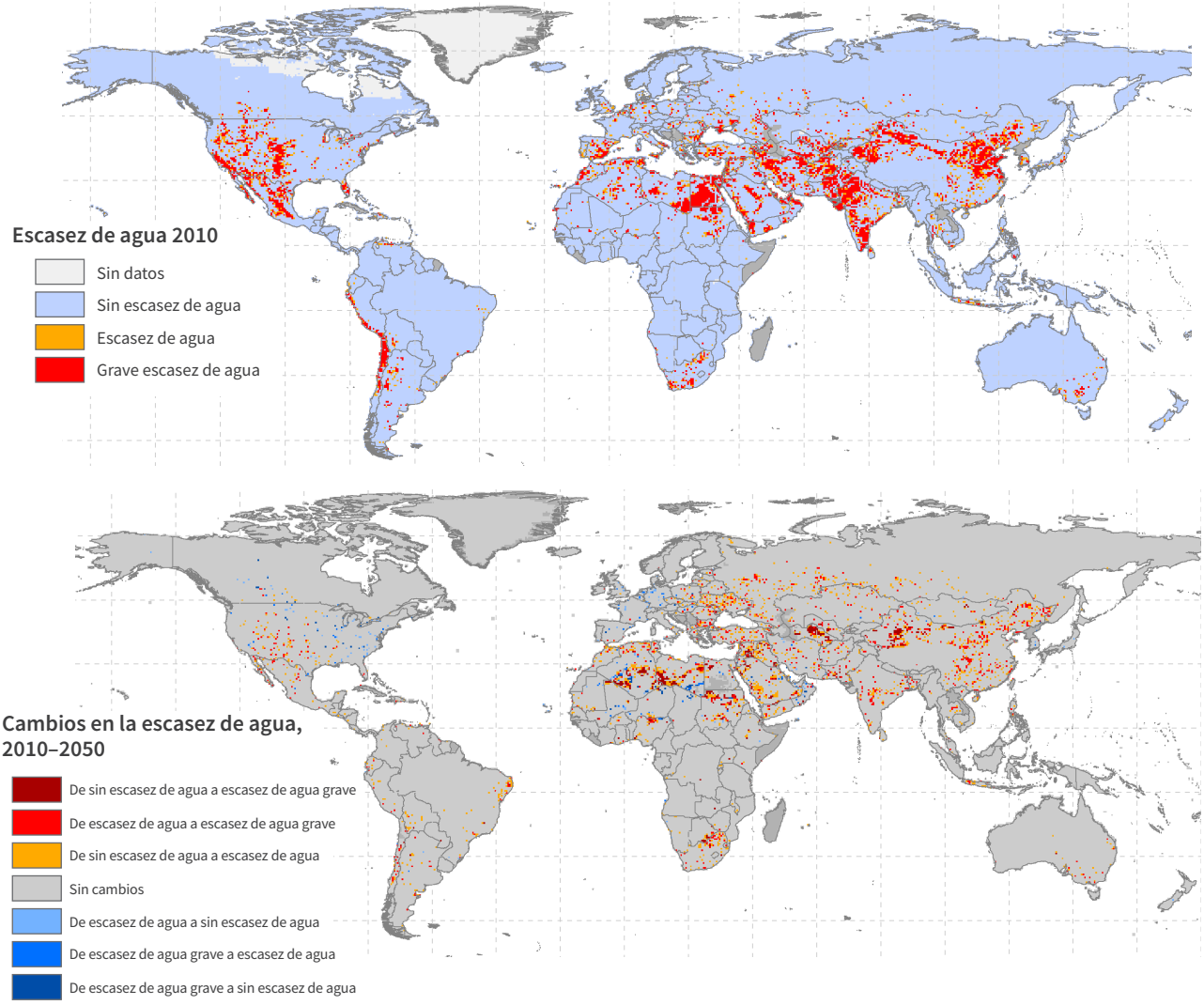
Se pronostica que los recursos hídricos superficiales disponibles a nivel continental permanecerán relativamente constantes en comparación con el desarrollo de la población, el PIB o la demanda de

> Los cambios en los futuros patrones de precipitación alterarán la incidencia de sequías y, en consecuencia, la disponibilidad de humedad del suelo para la vegetación en muchas partes del mundo.

agua. A nivel subregional, cualquier cambio será pequeño, oscilando entre -5 y + 5%, debido a los efectos del cambio climático, pero los cambios pueden ser mucho más pronunciados a nivel de país (Burek et al., 2016). Muchos países ya están experimentando condiciones generalizadas de escasez de agua y probablemente tendrán que hacer frente a una siempre menor disponibilidad de agua superficial en la década de 2050 (Figura 1). En la actualidad, casi todos los países en una franja que abarca de 10 a 40 grados norte, desde México hasta China y el sur de Europa, se ven afectados por la escasez de agua, junto con Australia, Sudamérica occidental y África Meridional en el hemisferio sur (Veldkamp et al., 2017). A principios de la década de 2010, 1.900 millones de personas (el 27% de la población mundial) vivían en áreas con potencial escasez severa de agua y en 2050 esto podría aumentar hasta alcanzar entre 2.700 y 3.200 millones. Sin embargo, si se tiene en cuenta la variabilidad mensual, 3.600 millones de personas en todo el mundo (casi la mitad de la población mundial) ya viven en áreas con escasez de agua por lo menos un mes por año, y esto podría alcanzar de 4.800 a 5.700 millones para el 2050. Alrededor del 73% de las personas afectadas viven en Asia (el 69% para el 2050). Considerando el factor capacidad de adaptación, de 3.600 a 4.600 millones de personas (43-47%) sufrirán estrés hídrico en la década de 2050, con entre el 91 y el 96% viviendo en Asia, principalmente en el sur y el este, y del 4 al 9% en África, principalmente en el norte (Burek et al., 2016).

El uso del agua subterránea a nivel mundial, principalmente para la agricultura, asciende a 800 $Km^3$/año en la década de 2010, con India, Estados Unidos (EE. UU.), China, Irán y Pakistán (en orden descendente) representando el 67% de las extracciones totales en todo el mundo (Burek et al., 2016). La extracción de agua para las áreas de regadío se ha identificado como el principal motor del agotamiento de las aguas subterráneas en todo el mundo (Figura 2). Se

**Figura 1** **Figura 1 Mapa físico de la escasez de agua en 2010 (figura superior) y el cambio previsto de la escasez de agua* para el 2050 (figura inferior) con base en un escenario prudencial (SSP2)****




*Se considera que las regiones padecen escasez de agua cuando las extracciones anuales totales para uso humano se encuentran entre el 20 y el 40% de los recursos hídricos superficiales renovables disponibles, y escasez severa de agua cuando los retiros superan el 40%.

**Los escenarios utilizados para este ejercicio de modelado se basan en las "trayectorias socioeconómicas compartidas aplicadas a los recursos hídricos". El escenario prudencial asume que el desarrollo mundial está progresando con arreglo a las tendencias y paradigmas del pasado, de modo que las tendencias sociales, económicas y tecnológicas no cambian notablemente respecto a los patrones históricos,es decir, siguen igual (escenario sin cambios).

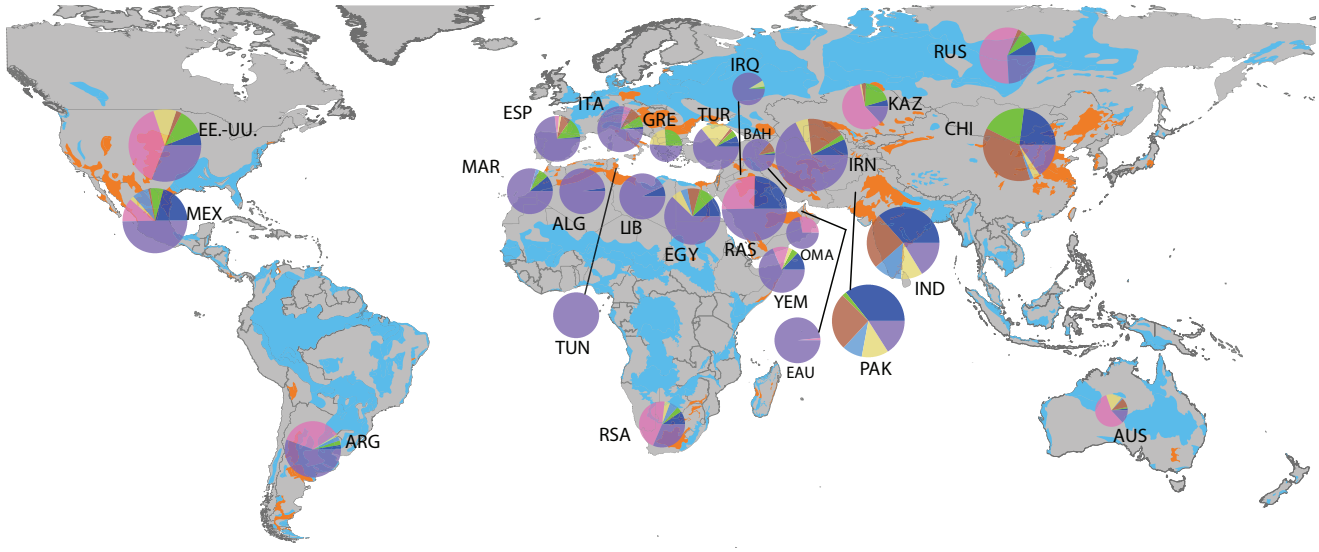
*Fuente: Burek et al. (2016, fig. 4-39, pág.65).*

pronostica un gran aumento en las extracciones de agua subterránea que asciende a 1.100 $Km^3$/año en la década de 2050, lo que corresponde a un aumento del 39% sobre los niveles actuales (Figura 3).

La importancia de los desafíos actuales que se enfrentan en la disponibilidad de agua, solo se puede entender si se compara la extracción de agua con sus niveles máximos sostenibles. En la actualidad, con 4.600 $Km^3$ por año, las extracciones mundiales ya están cerca de los niveles máximos sostenibles (Gleick y Palaniappan, 2010; Hoekstra y Mekonnen, 2012) y, de acuerdo a lo señalado en los previos Informes sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, las cifras mundiales ocultan desafíos más graves a nivel regional y local. Un tercio de los sistemas de agua subterránea más grandes del mundo ya se encuentran en peligro (Richey et al., 2015). Las tendencias sobre aguas subterráneas antes mencionadas también suponen extracciones cada vez mayores de aguas subterráneas no renovables (fósiles) –indudablemente un camino insostenible.

Existe una fuerte competencia por las tierras de cultivo marginales, degradadas y abandonadas para la producción de alimentos, la expansión urbana y la restauración de los ecosistemas naturales, lo que niega la sugerencia de que estas tierras constituyan una alternativa razonable para la producción de bioenergía en tierras de regadío (SCBD, 2014). Además, la mejora de la eficiencia del uso del agua de regadío puede conducir a una intensificación global del agotamiento del agua a nivel de cuenca, a través de incrementos en la evaporación total de los cultivos

**Figura 2** Contribución de cultivos específicos al agotamiento de las aguas subterráneas en todo el mundo en 2010




**Índice de estrés del agua subterránea**

- >1
- <1

**Agotamiento del agua subterránea para riego**

- >30 Km³ año⁻¹
- 10-30 Km³ año⁻¹
- 2-10 Km³ año⁻¹
- 1-2 Km³ año⁻¹
- <1 Km³ año⁻¹

- Trigo
- Maíz
- Arroz
- Caña de azúcar
- Algodón
- Gramíneas forrajeras
- Otro

*El índice de estrés de agua subterránea es la relación calculada de la huella del agua subterránea (definida más formalmente como GF = A[C/(R−E)], donde C, R y E son, respectivamente, área de abstracción anual promedio de aguas subterráneas, tasa de recarga, y la contribución del agua subterránea al flujo ambiental, y A es la extensión del área de cualquier región de interés donde C, R y E pueden definirse) al área del acuífero (AA). GF/AA > 1 indica las áreas donde el consumo insostenible de agua subterránea podría afectar a la disponibilidad de agua subterránea y lal agua superficial y los ecosistemas que dependen del agua subterránea.

Nota: Los diagramas de círculo muestran fracciones del agotamiento de agua subterránea para riego (GWD, por sus siglas en inglés) de los principales cultivos por país, y sus tamaños indican el volumen total de GWD. El mapa de fondo muestra el índice de estrés del agua subterránea (que corresponde a la sobreexplotación cuando es mayor que uno) de los principales acuíferos. Algunos países tienen acuíferos sobreexplotados, pero no se muestra ningún diagrama de círculo porque el uso del agua subterránea no está relacionado principalmente con el riego. Las áreas sombreadas en gris representan las zonas sin mayor producción de cultivos dependientes del agua subterránea

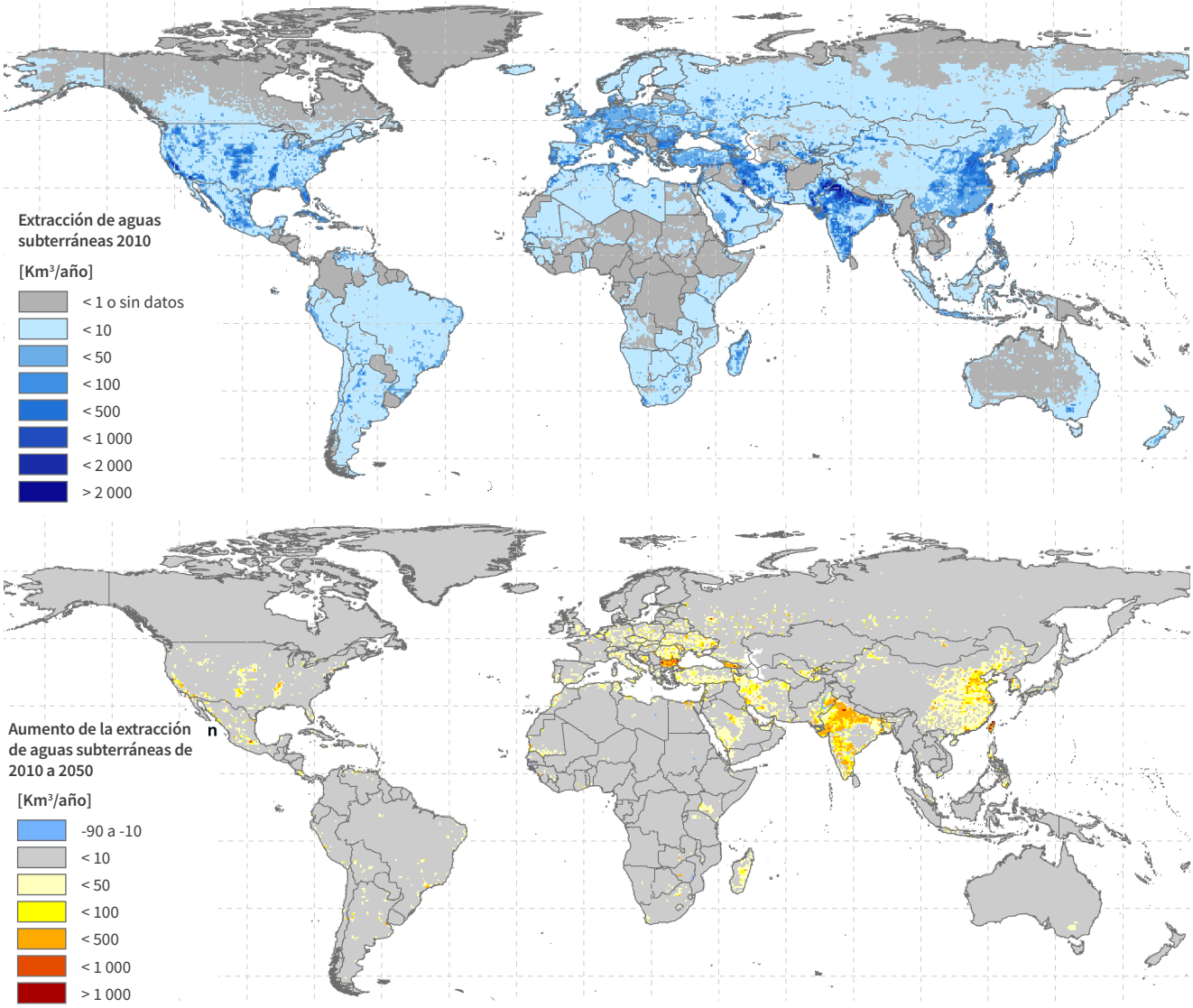
*Fuente: Dalin et al. (2017, fig. 1, págs. . 700–704). © 2017 Reproducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd*

y las reducciones en los flujos de retorno (Huffaker, 2008). Es por ello que el aumento de la eficiencia en el suministro de agua para cultivos de regadío debe ir acompañado de medidas regulatorias sobre las asignaciones de agua y/o las áreas de regadío (Ward y Pulido-Velázquez, 2008). La Evaluación exhaustiva de la gestión del agua en la agricultura (2007) ya señalaba que, con algunas excepciones regionales, el alcance de la expansión del regadío en todo el mundo es limitado, y que es preciso desplazar la atención de las asignaciones de aguas superficiales a la mejora de la agricultura de secano. La opción de construir más embalses está cada vez más limitada debido a la sedimentación, la escorrentía disponible, las preocupaciones y restricciones ambientales, y el hecho de que ya se han identificado y utilizado la mayoría de los sitios rentables y viables en los países desarrollados. En ciertas áreas, las formas de almacenamiento de agua que sean más amigables con el ecosistema, como los humedales naturales, la humedad del suelo y la recarga más eficiente de las aguas subterráneas podrían ser más sostenibles y rentables que la infraestructura tradicional, como las presas (OCDE, 2016).

## Calidad del agua

Las principales áreas que están sujetas a las amenazas de calidad del agua se correlacionan en gran medida a las densidades de población y las áreas de crecimiento económico, con los escenarios a futuro siendo determinados en gran parte por los mismos factores (Figura 4). Desde la década de 1990, la contaminación del agua ha empeorado en casi todos los ríos de África, Asia y

**Figura 3** Mapa de las extracciones de agua subterránea en el 2010 (figura superior) y aumentos en la extracción de agua subterránea para el 2050 por encima de los niveles del 2010 (figura inferior) en base al escenario prudencial




**Los escenarios utilizados para este ejercicio de modelado se basan en las "trayectorias socioeconómicas compartidas aplicadas a los recursos hídricos". El escenario prudencial asume que el desarrollo mundial está progresando según las tendencias y paradigmas del pasado, de modo que las tendencias sociales, económicas y tecnológicas no cambian notablemente respecto a los patrones históricos (es decir, siguen igual).

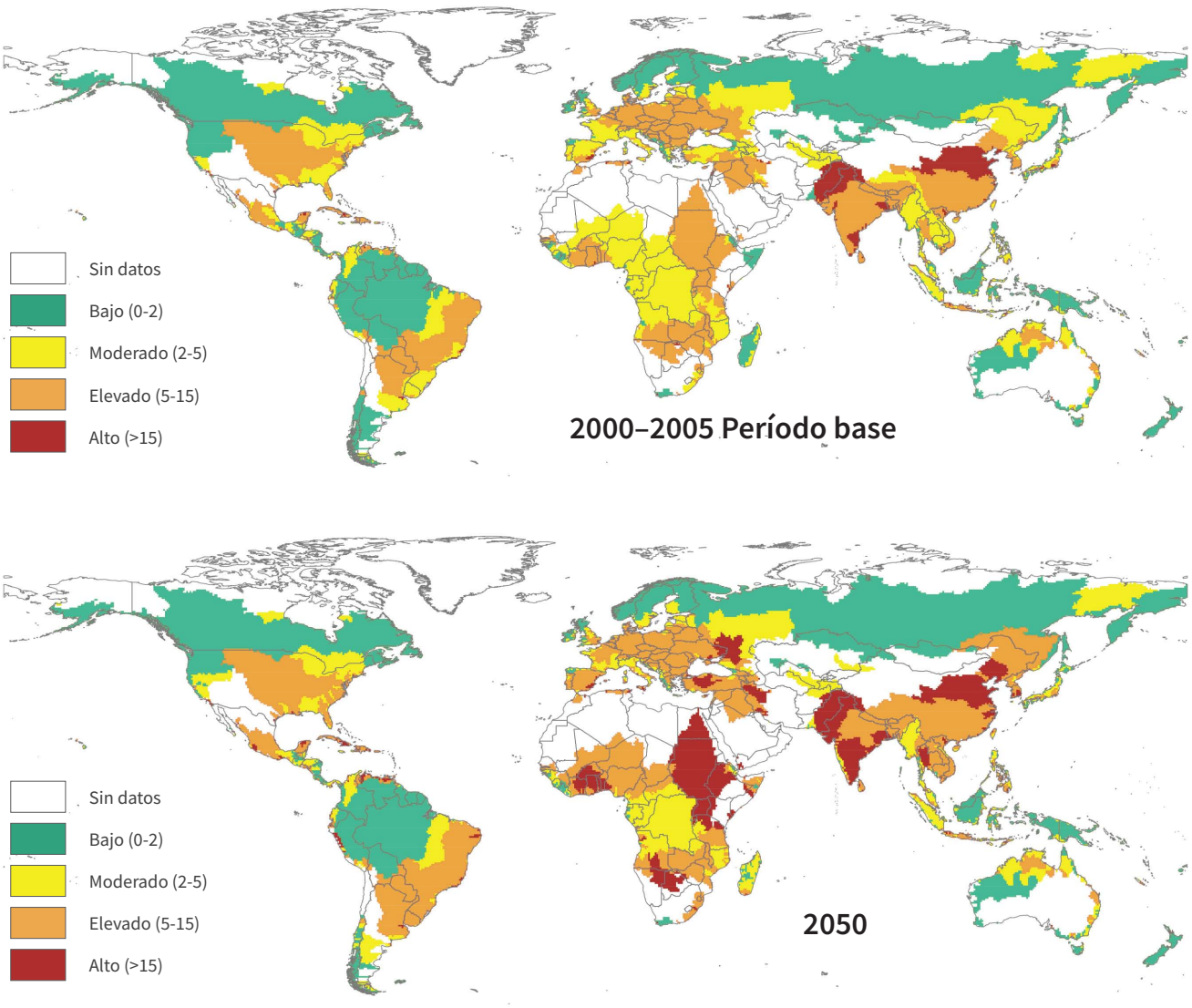
*Fuente: Burek et al. (2016, fig. 4–29, pág. 55).*

Latinoamérica (PNUMA, 2016a). Se espera que el deterioro de la calidad del agua aumente durante las próximas décadas, lo que conlleva un incremento de las amenazas para la salud humana, el medio ambiente y el desarrollo sostenible (Veolia/ IFPRI, 2015).

Se estima que el 80% del total de las aguas residuales industriales y municipales se libera al medio ambiente sin ningún tratamiento previo, lo que resulta en un deterioro creciente de la calidad general del agua con impactos perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas (WWAP, 2017).

A nivel mundial, el principal desafío en relación a la calidad del agua es la carga de nutrientes, la cual, dependiendo de la región, a menudo se asocia con la carga de patógenos (PNUMA, 2016a). La contribución relativa de los nutrientes de las aguas residuales de fuentes puntuales frente a las fuentes difusas varía según la región. A pesar de décadas de regulación y grandes inversiones para reducir la contaminación del agua de fuentes puntuales en los países desarrollados, los desafíos de la calidad del agua perduran como resultado de una regulación insuficiente de las fuentes difusas de contaminación. La gestión de la escorrentía difusa del exceso de nutrientes provenientes de la agricultura, incluso en las aguas subterráneas, se considera el desafío más frecuente relacionado con la calidad del agua a nivel mundial (PNUMA, 2016a; OCDE, 2017). La agricultura sigue siendo la fuente predominante de nitrógeno reactivo que se vierte en el medio ambiente y una fuente importante de fósforo (Figura 5).

**Figura 4** **Índices de riesgo de la calidad del agua de las principales cuencas fluviales durante el período de referencia (2000-2005) en comparación con el año 2050 (índice de nitrógeno en el escenario medio** del CSIRO* )**




*Organización de Investigación Científica e Industrial del Commonwealth

**Este escenario contempla un futuro más seco (según lo proyectado en el modelo de cambio climático del CSIRO) y un nivel medio de crecimiento socioeconómico.

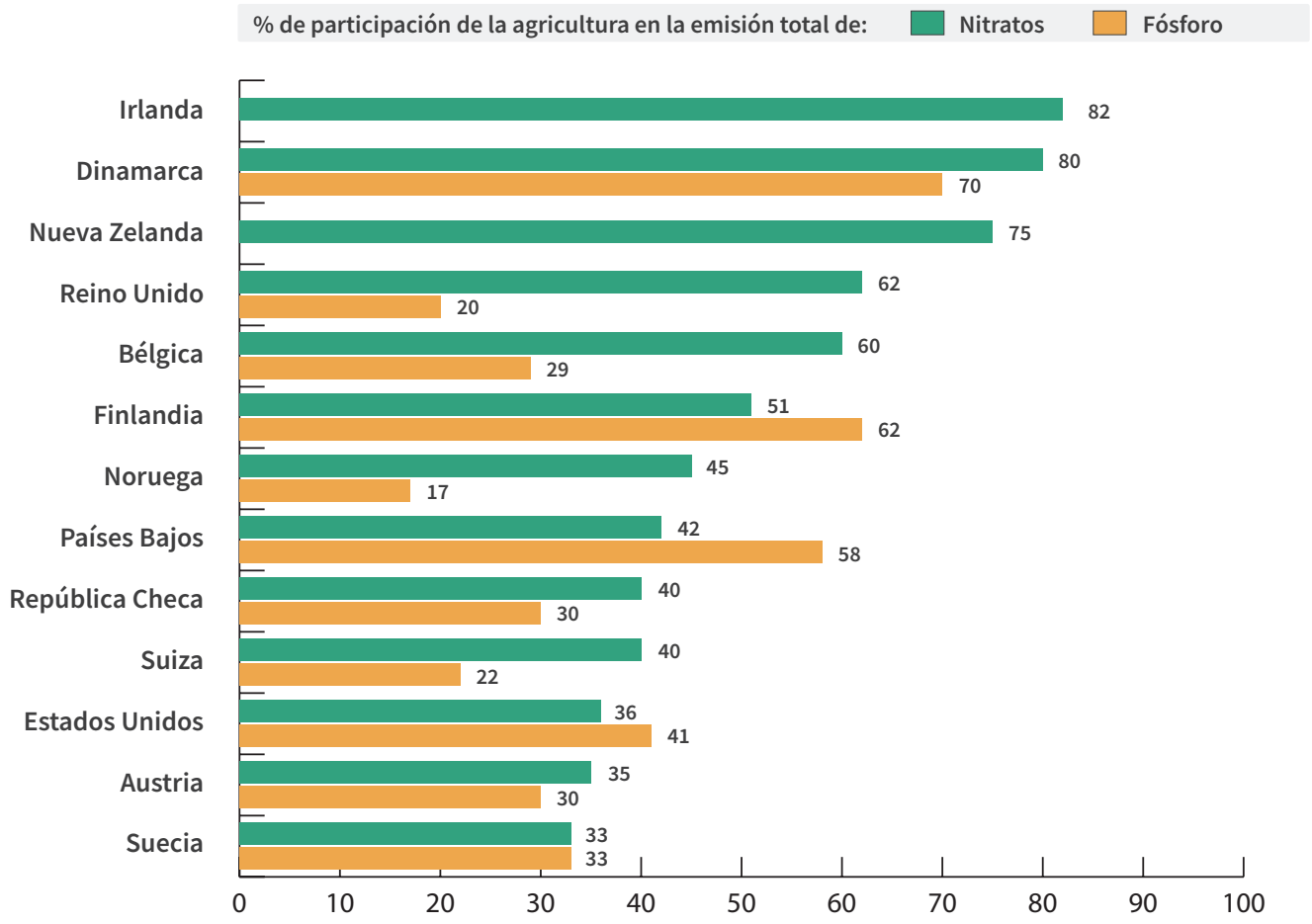
*Fuente: Veolia/IFPRI (2015, fig. 3, pág. 9).*

El desarrollo económico por sí solo no es una solución a este problema. Casi el 15% de las estaciones de monitoreo de aguas subterráneas en Europa registraron que el estándar para nitratos establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) era excesivo en el agua potable, además de que aproximadamente el 30% de los ríos y el 40% de los lagos se encontraban eutróficos o hipertróficos. 2008-2011 (CE, 2013a).

Cientos de productos químicos, además de los nutrientes, también afectan a la calidad del agua. La intensificación agrícola ya ha incrementado el uso de sustancias químicas en todo el mundo en aproximadamente dos millones de toneladas por año, con herbicidas que representan el 47,5%, insecticidas el 29,5%, fungicidas

> A nivel mundial, el principal desafío en relación a la calidad del agua es la carga de nutrientes

**Figura 5** **Porcentaje de participación de la agricultura en las emisiones totales de nitratos y fósforo en los países de la OCDE, 2000 - 2009**




Nota: Los países se clasifican en orden descendente de mayor proporción de nitratos en las aguas superficiales.

Para los nitratos, las cifras presentadas corresponden al año 2000 para Austria, la República Checa, Nueva Zelanda, Noruega, Suiza y los Estados Unidos; 2002 para Dinamarca; 2004 para Finlandia e Irlanda; 2005 para Bélgica (Valonia); 2008 para el Reino Unido y 2009 para los Países Bajos y Suecia.

Para el fósforo, las cifras presentadas corresponden al año 2000 para Austria, la República Checa, Noruega, Suiza y los Estados Unidos; 2002 para Dinamarca; 2004 para Finlandia; 2005 para Bélgica (Valonia) y 2009 para los Países Bajos, Suecia y el Reino Unido.

*Fuente: OCDE (2013, fig. 9.1, pág. 122).*

> La extracción de agua para las áreas de regadío se ha identificado como el principal motor del agotamiento de las aguas subterráneas en todo el mundo

el 17,5% y otros el 5,5% (De et al., 2014). La mayoría de los impactos de esta tendencia no están cuantificados y existen serias deficiencias en los datos: por ejemplo, Bünemann et al. (2006) no encontró datos disponibles de los efectos sobre la biota del suelo, entre los primeros organismos no-objetivo expuestos, de 325 de los 380 componentes activos de plaguicidas registrados para su uso en Australia. Un informe reciente del relator especial sobre el derecho a la alimentación (AGNU, 2017) llama la atención sobre la urgencia de mejorar las políticas sobre el uso de plaguicidas. Los contaminantes de interés emergente están en continua evolución y aumento, y con frecuencia se detectan en concentraciones superiores a las esperadas (Sauvé y Desrosiers, 2014). Los ejemplos incluyen productos farmacéuticos, hormonas, productos químicos industriales, productos de cuidado personal, pirorretardantes, detergentes, compuestos perfluorados, cafeína, fragancias, cianotoxinas, nanomateriales y agentes de limpieza

antimicrobianos y sus productos de transformación. Los impactos sobre las personas y la biodiversidad se darán principalmente a través del agua y son mayormente desconocidos (WWAP, 2017).

El cambio climático afectará a la calidad del agua de varias maneras. Por ejemplo, los cambios en los patrones espaciales y temporales y la variabilidad de la precipitación afectan a los caudales de las aguas superficiales y por lo tanto a los efectos de dilución, mientras que los aumentos de temperatura causan una mayor evaporación de las superficies abiertas y suelos, y la transpiración incrementada por la vegetación reduce potencialmente la disponibilidad de agua (Hipsey y Arheimer, 2013). El oxígeno disuelto se agotará más rápidamente debido a las temperaturas más altas del agua y cabe esperar que un mayor contenido de contaminantes fluya a las masas de agua después de eventos extremos de lluvia (IPCC, 2014). Se espera que los mayores aumentos en la exposición a contaminantes ocurran en países de ingresos bajos y medio bajos, debido principalmente al mayor crecimiento demográfico y económico en estos países, especialmente en los de África (PNUMA, 2016a), y a la falta de sistemas de gestión de aguas residuales (WWAP, 2017). Dada la naturaleza transfronteriza de la mayoría de las cuencas fluviales, la cooperación regional será fundamental para abordar los desafíos previstos en la calidad del agua .

## Eventos extremos

Las tendencias en la disponibilidad de agua van acompañadas de los cambios proyectados en los riesgos de inundaciones y sequías. Una preocupación en particular es que el creciente riesgo de inundación ocurra en algunas áreas que tradicionalmente sufren de escasez de agua (por ejemplo, Chile, China, Oriente Medio, África del Norte y la India) donde las estrategias locales para enfrentar las inundaciones estén probablemente poco desarrolladas.

Las pérdidas económicas derivadas de los peligros relacionados con el agua han aumentado considerablemente en las últimas décadas. Desde 1992, las inundaciones, las sequías y las tormentas han afectado a 4.200 millones de personas (el 95% de todas las personas que han sido afectadas por todos los desastres) y han causado daños por valor de 1,3 billones de dólares, el 63% del total mundial de los desastres relacionados con el agua. (CESPAP/EIRD, 2012).

Según la OCDE, *"se prevé que la cantidad de personas en riesgo por inundaciones aumente de 1.200 millones a alrededor de 1.600 millones para el 2050 (casi el 20% de la población mundial) y se espera que el valor económico de los activos en riesgo alcance los 45 billones de dólares para ese mismo año, un crecimiento de más del 340% desde 2010"* (OCDE, 2012, página 209). Las inundaciones han representado el 47% del total de los desastres relacionados

> Alrededor del 30% de la superficie terrestre del planeta está cubierta de bosques, pero al menos el 65% se encuentra ya en estado de degradación

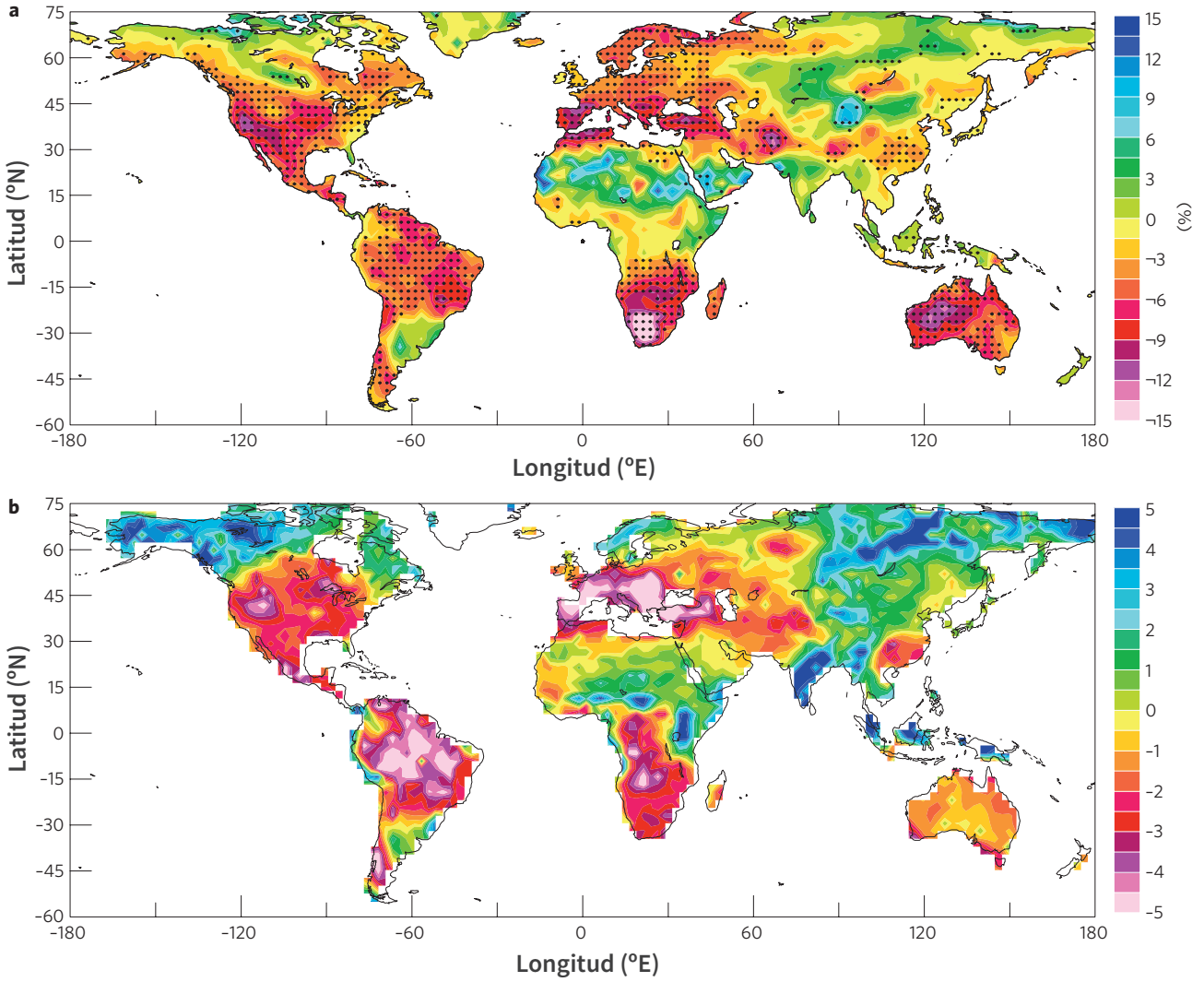
con el clima desde 1995, afectando a un total de 2.300 millones de personas. El número de inundaciones aumentó a un promedio de 171 por año durante el período 2005-2014, por encima del promedio anual de 127 en la década anterior (CRED/UNISDR, 2015). Los ejemplos de los costos por inundaciones incluyen el 39 y el 11% del PIB en la República Democrática Popular de Corea y Yemen, respectivamente (CRED / UNISDR, 2015).

La población afectada por la degradación de la tierra/desertificación y sequía se estima actualmente en 1.800 millones de personas, lo que la convierte en la categoría más importante de "desastre natural" en base a la mortalidad y el impacto socioeconómico en relación con el PIB per cápita (Low, 2013). Asimismo, la sequía representa un problema crónico a largo plazo en comparación con los impactos a corto plazo de las inundaciones, y las sequías son posiblemente la mayor amenaza del cambio climático. Los cambios en los futuros patrones de precipitación alterarán la incidencia de sequías y, en consecuencia, la disponibilidad de humedad del suelo para la vegetación en muchas partes del mundo. (Figura 6). La mayor duración y severidad de las sequías previstas pueden mitigarse mediante un mayor almacenamiento de agua, lo cual requiere un incremento de las inversiones en infraestructura que puede tener importantes contrapartidas para la sociedad y el medio ambiente. Por lo tanto, el almacenamiento de agua en el medio ambiente ("infraestructura verde") debe formar parte de las soluciones específicas para un lugar determinado. Los impactos de las sequías se verán agravados por el aumento de las extracciones para atender a la creciente demanda de agua.

## Tendencias en el cambio del ecosistema que afectan a los recursos hídricos

La totalidad de los principales tipos de ecosistemas terrestres y la mayoría de los ecosistemas costeros influyen en la disponibilidad, calidad y riesgos del agua (ver Capítulo 1). Las tendencias en la extensión y el estado

**Figura 6** **Pronóstico de futuros cambios en el contenido medio de humedad del suelo en la capa superior de 10 cm en variación porcentual* desde 1980-1999 (figura superior) hasta 2080-2099 (figura inferior)**




*Con base en predicciones de un conjunto multimodelo, simuladas por 11 modelos de un proyecto de comparación de modelos combinados de Fase 5 (CMIP5) en el escenario de emisiones del camino de concentración representativa CCR 4.5 .

*Fuente: Dai (2013, fig. 2, pág. 53). © 2013 Reproducido con permiso de Macmillan Publishers Ltd.*

de estos ecosistemas son por tanto particularmente relevantes para este informe, ya que indican hasta qué punto la conservación y / o restauración del ecosistema pueden contribuir a enfrentar los desafíos de la gestión de los recursos hídricos.

Alrededor del 30% de la superficie terrestre del planeta está cubierta de bosques, pero al menos el 65% se encuentra ya en estado de degradación (FAO, 2010). Sin embargo, la tasa de pérdida neta de área forestal se ha reducido en más del 50% en los últimos 25 años y en algunas regiones la reforestación está compensando la pérdida de bosques naturales (FAO, 2016).

Los pastizales se encuentran entre los biomas más extensos del mundo, y cuando se incluyen los campos de cultivo y las áreas arboladas dominadas por pastos, su superficie excede a la de los bosques. Los pastizales se encuentran por naturaleza en regiones donde las condiciones climáticas son demasiado secas o demasiado frías para otros tipos de vegetación como los bosques, pero grandes áreas de bosques y humedales también se han convertido en pastizales, especialmente para el pastoreo de ganado o la producción de cultivos. Del mismo modo, vastas áreas naturales de pastizales han sido “mejoradas” (es decir, alteradas para el pastoreo de ganado). Por lo tanto, las tendencias en cuanto a superficie y condición son más difíciles de cuantificar.

Los humedales (incluyendo ríos y lagos) cubren solamente el 2,6% de la tierra, pero desempeñan un papel desproporcionadamente grande en la hidrología por unidad de superficie. La mejor estimación de la pérdida global reportada de área natural de humedales debido a la

actividad humana oscila por término medio entre el 54 y el 57%, pero la pérdida puede haber alcanzado incluso el 87% desde el año 1700 , con una tasa 3,7 veces más rápida de pérdida de humedales durante el siglo XX y principios del siglo XXI, lo que equivale a una pérdida de entre el 64 y el 71% de la extensión de humedales desde la existente en 1900 (Davidson, 2014).

Las pérdidas han sido mayores y más rápidas en los humedales continentales que en los costeros. Aunque la tasa de pérdida de humedales en Europa se ha ralentizado y en América del Norte ha permanecido baja desde la década de 1980, la tasa de pérdida se ha mantenido alta en Asia, donde continúa la conversión a rápida y gran escala de los humedales naturales costeros y continentales. Algunas de estas pérdidas se compensan con la expansión de humedales construidos o gestionados, principalmente embalses y arrozales. La gran mayoría de los estudios realizados concluyeron que los humedales aumentan o disminuyen un componente particular del ciclo del agua (Bullock y Acreman, 2003). El alcance de su pérdida, por lo tanto, tiene significativas implicaciones para la hidrología. Sin embargo, los diferentes humedales tienen distintas propiedades hidrológicas y cuantificar el impacto de este cambio global en los recursos hídricos representa un desafío.

El uso del suelo y el cambio de uso del suelo (LULUC) inducido directamente por el hombre impactan de manera significativa en la hidrología a escala local, regional y global (ver Capítulo 1, Sección 1.3.3). Existen pruebas fehacientes de que las tendencias en LULUC han impactado en los balances hídricos a escala de cuenca, como por ejemplo en la cuenca alta del río Mississippi (Schilling y Libra, 2003; Zhang y Schilling, 2006) o en el curso medio de la cuenca del río Amarillo (Sun et al., 2006; Zhang et al., 2015). Además de afectar a la dinámica del balance hídrico dentro de una cuenca, LULUC también puede afectar a los patrones de precipitación y escorrentía en otras cuencas, debido al rol de la vegetación como "reciclador de agua" y a los efectos de la circulación atmosférica.

En la actualidad, las actividades humanas que conducen a cambios hidrológicos en los pastizales están muy extendidas (Gibson, 2009). El pastoreo excesivo, la degradación del suelo y la compactación superficial conducen a mayores tasas de evaporación, menor almacenamiento de agua en el suelo y mayor escorrentía superficial, los cuales se consideran perjudiciales para los servicios de almacenamiento de agua de los pastizales, incluyendo la calidad del agua (McIntyre y Marshall, 2010) y la atenuación de los riesgos de inundación y sequía (Jackson et al., 2008). Los impactos significativos se manifiestan cada vez más cuando la gestión de los pastizales se asocia con la quema regular, lo que tiende a aumentar el uso del agua a través del rebrote de la vegetación, reduciendo así el rendimiento hídrico (Sakalauskas et al., 2001). La compactación del suelo y las reducciones asociadas de la capacidad de infiltración causada por el pastoreo están cada vez más documentadas en la literatura ( Bilotta et al., 2010). Alrededor del 7,5% de los pastizales de todo el mundo se han degradado debido al sobrepastoreo por sí solo (Conant, 2012).

> Los suelos juegan un importante papel, a menudo subestimado, en el movimiento, almacenamiento y transformación del agua

El conocimiento más extenso respecto al estado actual y las tendencias en el cambio del ecosistema y los impactos en los recursos hídricos existe en el dominio de los suelos o la degradación de la tierra. La capa vegetal de suelo es la interfaz más importante entre el agua, los ecosistemas y las necesidades humanas (ver Capítulo 1, Sección 1.3.2). La evaluación de 2015 sobre *El estado de los recursos mundiales del suelo*, realizada por el Grupo Técnico Intergubernamental de Suelos (FAO/GTIS, 2015a), concluyó que la mayoría de los recursos mundiales del suelo están en condiciones buenas, pobres o muy malas, y que la perspectiva actual es que esta situación empeore. La Tabla 1 presenta un resumen global de la condición y la tendencia de las diez principales amenazas para los suelos. Las amenazas más importantes para el capital natural del suelo a escala global son la erosión, la pérdida de carbono orgánico, el desequilibrio de nutrientes y la pérdida de biodiversidad, y son muy interdependientes (al igual que otras funciones afectadas por la mayoría de las otras amenazas) y tienen consecuencias a nivel de los recursos hídricos.

La degradación de la tierra está relacionada con los servicios ecosistémicos deteriorados y la baja productividad del agua (Bossio et al., 2008), incluso en los sistemas de regadío (Uphoff et al., 2011). La erosión del suelo de las tierras de cultivo arrastra de 25 a 40 mil millones de toneladas de capa vegetal cada año, reduciendo significativamente el rendimiento de los cultivos y la capacidad del suelo para regular el agua, el carbono y los nutrientes, transportando de 23 a 42 millones de toneladas de nitrógeno y de 15 a 26 millones de toneladas de fósforo, con importantes efectos negativos en la calidad del agua (FAO/GTIS, 2015a). La pérdida global de la reserva de carbono orgánico del suelo se estima desde 1850 en alrededor de 66 + 12 mil millones de toneladas; una significativa contribución al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en

> La salud de los suelos, y en particular su capacidad para apoyar el ciclo de nutrientes, tiene una gran influencia en la calidad del agua, particularmente en los sistemas agrícolas

la atmósfera, pero también un factor importante que socava la disponibilidad de agua para los cultivos (FAO / GTIS, 2015b). La salinidad y sodicidad del suelo se están convirtiendo en un problema importante en áreas irrigadas y no irrigadas, ocasionando que se dejen de cultivar de 0,3 a 1,5 millones de hectáreas de tierras agrícolas cada año y disminuyendo el potencial de cultivo de entre 20 y 46 millones de hectáreas más (FAO / GTIS, 2015a). Se estima que 60 millones de hectáreas de tierras de regadío (o el 20% del total) se ven afectadas por la salinidad del suelo (Squires y Glenn, 2011).

Está ampliamente demostrado que el cambio en los ecosistemas ha aumentado los riesgos y la vulnerabilidad, y en muchos casos es el factor principal que establece los niveles de riesgo (Renaud et al., 2013). El cambio de uso del suelo, su degradación y erosión y la pérdida de humedales están todos implicados en el incremento del riesgo de desastres (Wisner et al., 2012). Existe un círculo vicioso entre los impactos del cambio climático, la degradación de los ecosistemas y el aumento del riesgo de desastres relacionados con el clima (Munang et al., 2013). Revertir la tendencia en la degradación de los ecosistemas es una respuesta clave de política para la seguridad alimentaria a prueba de cambio climático (FAO, 2013a). Está demostrado que los humedales costeros intactos, incluidos los manglares, pueden proteger a las comunidades costeras de los fenómenos meteorológicos extremos (incluyendo el aumento del nivel del mar) y su pérdida aumenta el riesgo y la vulnerabilidad. Aunque el aumento de la carga de sedimentos es un problema para la calidad del agua en todo el mundo, los niveles naturales de transporte de sedimentos río abajo pueden verse interrumpidos cuando los sedimentos quedan atrapados detrás de las represas, socavando los flujos de sedimentos necesarios para mantener la integridad de los humedales costeros. En el delta del Mississippi, por ejemplo, la pérdida de humedales y sus servicios de protección contra tormentas e inundaciones fue uno de los principales factores que contribuyeron a la gravedad de los impactos del huracán Katrina en 2005, debido a la reducción de los aportes de sedimentos por la construcción y funcionamiento de la represa aguas arriba (Batker et al., 2010). Muchos de los principales asentamientos urbanos y la mayoría de las megaciudades están ubicados en deltas con niveles de riesgo similares, cuando no superiores, a través de enfoques de gestión (deficiente) similares para el suelo y el agua. La cuestión no es si la mayoría de ellos se verán afectados de manera similar, sino cuándo.

**Tabla 1** Estado global y tendencia de las amenazas del suelo, excluida la Antártida

| Amenaza para la función del suelo | Condiciones y tendencias | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Muy deficiente | Deficiente | Aceptable | Buena | Muy buena |
| Erosión del suelo | ↙NENA | ↙A<br>↙LAC<br>↙SSA | ↗E<br>↗NA<br>↗SP | | |
| Cambio de carbono orgánico | | ↓↑A<br>↓↑E<br>↙LAC<br>↙NENA<br>↙SSA | ↗NA<br>↓↑SP | | |
| Desequilibrio de nutrientes | | ↙A<br>↓↑E<br>↙LAC<br>↙SSA<br>↙NA | ↙SP | ↓↑NENA | |
| Salinización y sodificación | | ↓↑A<br>↙E<br>↙LAC | ↙NENA<br>↓↑SSA | ↗NA<br>↓↑SP | |
| Sellado de suelos y toma de tierra | ↙NENA | ↙A<br>↙E | ↓↑LAC<br>↙NA | =SSA<br>↙SP | |
| Pérdida de la biodiversidad del suelo | | ↙NENA<br>↙LAC | ↓↑A<br>↙E<br>↙SSA | ↓↑NA<br>↓↑SP | |
| Contaminación | ↙NENA | ↙A<br>↙E | ↓↑LAC | ↙SSA<br>↗NA<br>↗SP | |
| Acidificación | | ↙A<br>↓↑E<br>↗SSA<br>↙NA | ↓↑LAC<br>↙SP | ↓↑NENA | |
| Compactación | | ↙A<br>↙LAC<br>↙NENA | ↓↑E<br>↓↑NA<br>↓↑SP | =SSA | |
| Anegamiento | | | ↙A<br>↓↑E<br>=LAC | ↓↑NENA<br>=SSA<br>↓↑NA<br>↓↑SP | |

**=** **Estable** **↓↑** **Variable** **↗** **Mejorando** **↙** **Deteriorado**

NA América del Norte
E Europa
NENA Cercano Oriente y África del Norte
LAC América Latina y el Caribe
SSA África y el sur del Sáhara
SP Suroeste del Pacífico
A Asia

# 1 LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (SbN) Y EL AGUA



**WWAP** | David Coates and Richard Connor

**Con aportaciones de:** Giuseppe Arduino (UNESCO-PHI) y Kai Schwaerzel (UNU-FLORES)[2]

Reforestación de manglar



## 1.1 Introducción

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) están inspiradas y respaldadas por la naturaleza y el uso o imitación de los procesos naturales para contribuir a la gestión mejorada del agua. Por consiguiente, la característica definitoria de una SbN no es si un ecosistema utilizado es "natural", sino si los procesos naturales son proactivamente manejados para lograr un objetivo relacionado con el agua. Una SbN utiliza los servicios del ecosistema para contribuir a un resultado de gestión del agua. Una SbN puede implicar la conservación o rehabilitación de ecosistemas naturales y/o la mejora o creación de procesos naturales en ecosistemas modificados o artificiales. Se pueden aplicar a microescala (por ejemplo, un inodoro seco) o macroescala (por ejemplo, el paisaje).

En este informe, los enfoques basados en la naturaleza se articulan como "soluciones" para señalar su contribución actual y potencial a solucionar o superar los principales problemas o desafíos contemporáneos de gestión del agua, un enfoque clave de la serie del *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo* (WWDR). Sin embargo, también pueden tener utilidad cuando no exista un problema o desafío crítico de agua local, por ejemplo, ofreciendo beneficios colaterales mejorados de la gestión de los recursos hídricos o simplemente como una opción estética, incluso cuando los aumentos en la productividad sean marginales.

El reconocimiento del rol de los ecosistemas, el concepto y la aplicación de las SbN en la gestión del agua, ciertamente no son nuevos. El rol de los ecosistemas ha estado arraigado en las ciencias hidrológicas modernas durante décadas. La terminología de las SbN surgió probablemente alrededor de 2002 (Cohen-Shacham et al., 2016), pero la aplicación de los

[2] Las opiniones expresadas en este capítulo son las del/los autor/autores. La inclusión de las mismas no implica que cuenten con el respaldo de la Universidad de las Naciones Unidas.

procesos naturales para gestionar el agua probablemente abarca milenios. Las ediciones anteriores de la serie del *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo* solo hacen una breve referencia a las SbN (por lo general, usan terminología alternativa, ver más abajo). Sin embargo, se les ha venido prestando cada vez mayor atención a las SbN tanto en los foros políticos como en la literatura técnica, en parte como respuesta a la opinión de que se subestima su potencial.

La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, con sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), ha reflejado esto en la adopción de la Meta 6.6 (*"proteger y restaurar los ecosistemas acuáticos, incluyendo montañas, bosques, humedales, ríos, acuíferos y lagos para el 2020"*) a fin de apoyar el logro del ODS 6 (*"Garantizar la disponibilidad y gestión sostenible de agua y saneamiento para todos"*), incluidos sus otros objetivos sobre agua potable, saneamiento, calidad del agua, eficiencia en el uso del agua y gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH). En respuesta, el Informe sobre el desarrollo mundíal de los recursos hídricos 2018 está dedicado a las SbN y presta especial atención a su rol en la contribución a esta Agenda.

Hay importantes lecciones de la historia antigua que ayudan a enmarcar el contexto de este informe. La precaria naturaleza de la relación entre los ecosistemas, la hidrología y el bienestar humano se evidencia, por ejemplo, con los colapsos de las primeras "grandes civilizaciones fluviales" del Tigris-Éufrates, el Nilo, el Indo-Ganges y el río Amarillo (Ito, 1997), que se iniciaron debido a cambios hidrológicos y reducciones en la precipitación de hasta un 30% en un tramo del planeta que se extiende desde Europa hasta el río Indo (Cullen et al., 2000; Weiss y Bradley, 2001). En algunos casos, la desertificación iniciada por cambios hidrometeorológicos puede verse acelerada por los cambios en el uso del suelo, incluyendo el pastoreo excesivo de ganado, ya que las poblaciones migratorias buscaban condiciones agrícolas más favorables (Weiss et al., 1993). Se puede determinar una historia similar para la civilización maya en Centroamérica 250-950 d.C. (Peterson y Haug, 2005). Ciertamente, en los últimos dos o tres milenios, donde la humanidad ha alterado los paisajes, principalmente para la agricultura, se ha originado una degradación de la base de capital natural, lo que invariablemente ha llevado a una pérdida de capacidad productiva de la tierra, que a menudo conduce a la desertificación y el abandono (Montgomery, 2007). Se pueden establecer similitudes con la actualidad. Un creciente conjunto de evidencias (tal como se decía en el prólogo) sugiere que, a medida que la humanidad empezó a trazar su rumbo a través del Antropoceno, las transiciones fundamentales en el estado y funcionamiento de los sistemas de la Tierra empezaron a superar el rango de variabilidad experimentado en el Holoceno (Steffen et al., 2015)

## 1.2 Conceptos, herramientas, enfoques y terminología compatibles

Hay otra serie de conceptos, herramientas, enfoques o terminología en uso entre varios grupos de actores o foros que son los mismos, similares o compatibles con las SbN. Todos estos pretenden equilibrar un enfoque más tecnocrático de infraestructura construida que se ha inclinado a dominar la gestión de los recursos hídricos, al reconocer la contribución que pueden hacer los ecosistemas. La ecohidrología es una ciencia integradora que se centra en la interacción entre la hidrología y la biota (Cuadro 1.1). *El enfoque ecosistémico* es un marco conceptual para resolver problemas ecosistémicos adoptado por el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB, 1992) y compatible con el concepto *de uso racional de los humedales* de la Convención de Ramsar sobre los Humedales (1971). *La gestión basada en el ecosistema y la adaptación o mitigación basadas en los ecosistemas* implican la conservación, la gestión sostenible y la restauración de los ecosistemas. Los *flujos ambientales* describen las cantidades, la calidad y los patrones de los flujos de agua necesarios para sostener los ecosistemas de agua dulce y de estuario, así como los servicios ecosistémicos que proporcionan. *Ecorehabilitación*, *fitorehabilitación* y *biorehabilitación* son conceptos que se utilizan en la restauración de los ecosistemas para reintegrar un sistema diverso de comunidades de plantas en un ecosistema en particular, con el fin de mejorar sus capacidades de amortiguación o remediación. Otros conceptos, herramientas y enfoques parcialmente relacionados con las SbN incluyen la restauración ecológica, la ingeniería ecológica, la restauración del paisaje forestal, la in*fraestructura verde o natural, la reducción del riesgo de desastres (RRD) basada en ecosistemas, y servicios ecosistémicos de adaptación climática* (Cohen-Shacham et al., 2016).

Las SbN respaldan la economía circular que promueve una mayor productividad de los recursos con el fin de reducir los residuos y evitar la contaminación, incluso mediante la reutilización y el reciclaje, y es restaurativa y regenerativa por diseño, en contraste con la economía lineal, que es un modelo de produccion de "tomar, hacer, desechar"'. Las SbN también respaldan los conceptos de *crecimiento verde* o *economía verde*, que promueven el uso sostenible de los recursos naturales y aprovechan los procesos naturales para sustentar las economías.

Las SbN reconocen los ecosistemas como el capital natural, o la reserva de recursos naturales renovables y no renovables (por ejemplo, plantas, animales, aire, agua, suelos y minerales) que se combinan para producir un flujo de beneficios para las personas (adaptado de Jansson et al., 1994; Atkinson and Pearce, 1995). El *Protocolo de Capital Natural*[3] está siendo reconocido cada vez más por

[3] Más información sobre el Capital Natural y el Protocolo de Capital Natural disponible en naturalcapitalcoalition.org/protocol/.

CUADRO 1.1

## ECOHIDROLOGÍA

La ecohidrología es una ciencia integradora que se centra en la interacción entre la hidrología y la biota. Busca reforzar los servicios ecosistémicos en los paisajes modificados para reducir los impactos antropogénicos. Los enfoques holísticos que manejan la hidrología y la biota pretenden lograr la sostenibilidad tanto en los ecosistemas como en las poblaciones humanas y mejorar la GIRH. La ecohidrología proporciona conocimientos básicos y herramientas aplicadas para el logro del ODS 6 sobre Agua.

La ecohidrología promueve la integración de una cuenca y su biota en una sola entidad, y el uso de las propiedades ecosistémicas se convierte en una herramienta de gestión dentro de la cual la ecohidrología puede abordar aspectos fundamentales de la gestión de los recursos hídricos. Proporciona una base científica sólida para adoptar una cuenca hidrográfica como unidad de planificación básica. Al incorporar el concepto de mejora de la resiliencia del ecosistema como herramienta de gestión, la ecohidrología refuerza la lógica para adoptar un enfoque preventivo y holístico de la cuenca, a diferencia del enfoque reactivo, sectorial y específico para cada lugar, típico de las prácticas actuales de gestión de los recursos hídricos. Al mismo tiempo, la ecohidrología enfatiza la importancia de las medidas ecotecnológicas como un componente integral de la gestión del agua, complementando los enfoques de ingeniería estándar (Zalewski, 2002). Además, Mitsch y Jørgensen (2004) desarrollaron la aplicación de ingeniería ecológica, p. ej. la gestión de los humedales para depurar el agua de las excesivas cargas de nutrientes basada en la teoría ecológica y modelos matemáticos.

La ecohidrología actúa como un factor de aceleración para la transición de la ecología descriptiva, la conservación restrictiva y la gestión excesiva de los ecosistemas acuáticos, hacia la ecología analítica/funcional y la gestión y conservación creativa de las aguas dulces (Zalewski et al., 1997).

Desde 2011, el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (UNESCO-PHI) ha promovido el establecimiento de varios sitios de demostración en todo el mundo con el fin de aplicar soluciones sistémicas de ecohidrología en las cuencas hidrológicas a todas las escalas. En un sitio de prueba se aplica la ecohidrología en sus objetivos para abordar temas como concentraciones de contaminantes y nutrientes, mejora de la calidad del agua, mitigación de inundaciones, pérdida de capacidad de retención de la vegetación, etc. Los procesos hidrológicos y ecológicos se estudian desde las escalas moleculares (procesos microbianos) hasta la de captación en hábitats acuáticos como humedales, marismas, manglares y ríos, desde las cabeceras de los ríos hasta las llanuras y zonas costeras, con el fin de encontrar soluciones a largo plazo que integren los componentes sociales.

Estos sitios de prueba incluyen el concepto de potencial ecosistémico mejorado, a través de la aplicación de estrategias ecohidrológicas, para lograr la sostenibilidad de los ecosistemas relacionados con el agua para mejorar la GIRH. Esto se denomina WBSRC (W-water, B-biodiversity, S-ecosystem services, R-resilience, C-culture or social dimension) — Agua, Biodiversidad, Servicios Ecosistémicos, Resiliencia, Cultura o Dimensión Social —, un objetivo multidimensional que contiene los cinco elementos que deben tenerse en cuenta al tratar de reforzar la capacidad de carga de los ecosistemas modificados.

*Contribución de: UNESCO-PHI.*

**Figura | Ecohidrología: pasado, presente, futuro**




*Fuente: Zalewski et al. (1997, fig. 2, pág. 13).*

> Probablemente no sean necesarios cambios drásticos en los regímenes normativos y se pueda lograr mucho promoviendo las SbN de manera más eficaz a través de los marcos existentes

una amplia gama de actores, incluyendo las empresas, y respalda el uso de las SbN al destacar el flujo de beneficios que pueden derivarse del uso de la naturaleza. A través de un proceso sólido y estructurado, el marco ayuda a organizar, identificar, medir y valorar los impactos y dependencias del capital natural, catalizando la inversión en las SbN.

Las SbN también son coherentes, por no decir esenciales para las numerosas creencias religiosas, culturales o totémicas que destacan las concepciones sobre la naturaleza, más que las decisiones de gestión impulsadas por un enfoque tecnocrático. Las SbN reflejan un paradigma global adoptado por líderes seculares y espirituales que, por lo general, afirman que traspasar los límites de la naturaleza es un pecado (o su equivalente). Por ejemplo, los valores que que encontramos en la mayoría de las religiones, incluyendo el Islam, el Budismo, el Zoroastrismo, el Judaísmo y el Cristianismo, abogan por la equidad entre el hombre, la naturaleza, el uso apropiado en lugar del uso excesivo y la purificación después del uso (Taylor, 2005). Asimismo, la *Madre Tierra* o *la Madre Naturaleza* son expresiones metafóricas comunes para la Tierra y su biosfera como el dador y sustentador de la vida. Tales conceptos pueden ser importantes a nivel local, nacional o regional y pueden prevalecer sobre los enfoques impulsados por la ciencia y la tecnología. Dado que este informe argumenta que las SbN también deben basarse en la economía y los conocimientos científicos sólidos, brindan un vínculo entre estos paradigmas tradicionales y modernos. Entre otras cosas, esto puede hacer que los líderes religiosos, culturales y totémicos sean aliados poderosos en el desarrollo de las SbN.

Las SbN suelen estar en armonía con el derecho consuetudinario y el conocimiento tradicional/local que puede ser importante a nivel local. *El enfoque basado en los derechos humanos* para la gestión y la gobernanza de los recursos hídricos también puede ser coherente con las SbN, especialmente si se centra en el derecho consuetudinario. Otros temas de derechos que deben considerarse incluyen el reconocimiento de los derechos colectivos de los pueblos indígenas a las tierras y territorios, los recursos naturales que tradicionalmente han ocupado y utilizado, su derecho al desarrollo y los impactos de la adaptación y mitigación del cambio climático (por ej. Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas).

## 1.3. Cómo funcionan las SbN

### 1.3.1 El papel de los ecosistemas en el ciclo del agua

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas afectan a todas las rutas hidrológicas en el ciclo del agua (Figura 1.1). Los procesos biológicos en un paisaje, y especialmente en los suelos, influyen en la calidad del agua a medida que se mueve a través de un sistema, así como en la formación del suelo, la erosión, el transporte y depósito de sedimentos, todos los cuales pueden ejercer una importante influencia en la hidrología. También hay grandes flujos de energía asociados a este ciclo impulsado por la naturaleza: por ejemplo, el calor latente relacionado con la evaporación puede ejercer un efecto de enfriamiento y es una base para SbN para regular, por ejemplo, climas urbanos.

### 1.3.2. Los principales componentes involucrados del ecosistema

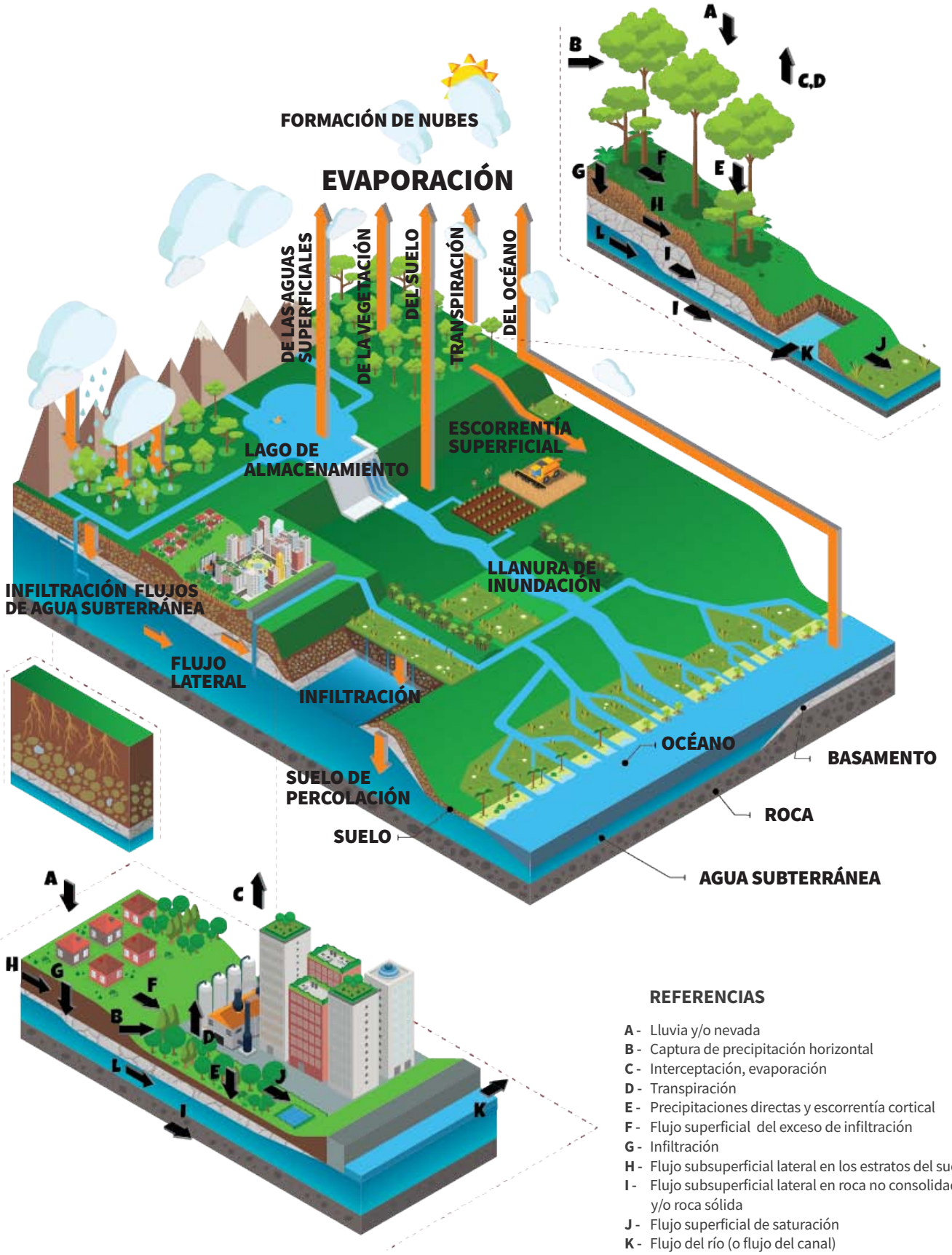
Todos los principales tipos de ecosistemas o biomas terrestres y la mayoría de los costeros influyen en el agua. La mayor parte de las aplicaciones de las SbN, incluso en los paisajes urbanos, implican esencialmente el manejo de la vegetación, los suelos y/o los humedales (incluidos ríos y lagos).

***La vegetación***

Las plantas cubren aproximadamente el 72% de la masa terrestre mundial (FAO/GTIS, 2015a). Los tallos y las hojas de las plantas interceptan las precipitaciones (lluvia o nieve) o la humedad de las nubes. Las plantas afectan a la disponibilidad del agua y el clima a través de las funciones de transpiración y, por ende, remueven el agua de los suelos y en ocasiones el agua subterránea. Las raíces de las plantas contribuyen a la estructura y salud del suelo e influyen en el almacenamiento y disponibilidad del agua del suelo, la infiltración y la percolación del agua subterránea. En todos, excepto en los paisajes más secos o congelados, la senescencia natural de las plantas crea una capa fundamental de materia orgánica que cubre el suelo y regula la erosión y la evaporación de la tierra.

Los paisajes incluyen una variedad de categorías de cobertura vegetal, cada una de las cuales puede tener diferentes grados de influjo en el ciclo del agua, que a su vez está influenciado por el régimen de gestión en

**Figura 1.1** Rutas hidrológicas generalizadas en un paisaje natural (arriba) y un entorno urbano (abajo)




**REFERENCIAS**

- **A -** Lluvia y/o nevada
- **B -** Captura de precipitación horizontal
- **C -** Interceptación, evaporación
- **D -** Transpiración
- **E -** Precipitaciones directas y escorrentía cortical
- **F -** Flujo superficial del exceso de infiltración
- **G -** Infiltración
- **H -** Flujo subsuperficial lateral en los estratos del suelo
- **I -** Flujo subsuperficial lateral en roca no consolidada y/o roca sólida
- **J -** Flujo superficial de saturación
- **K -** Flujo del río (o flujo del canal)
- **L -** Flujo de agua subterránea lateral

*Fuente: WWAP.*

vigor. Los bosques, por ejemplo, a menudo reciben la mayor atención con respecto a la cobertura de la tierra y la hidrología, pero los pastizales y las tierras de cultivo también son muy importantes. Aunque los bosques son ampliamente utilizados como soluciones de restauración, la rehabilitación de pastizales y arbustos en la meseta de Loess en China ha aportado mayores mejoras en el almacenamiento de humedad y conservación del suelo que la reforestación en ese lugar (Chen et al., 2010; Zhang et al., 2015). Los pastizales naturales también tienden a producir agua de alta calidad. Sin embargo, en el caso de los pastizales abonados (como en Europa Occidental y los EE. UU., por ejemplo), las cargas elevadas de nitrógeno y fósforo en el flujo terrestre constituyen un problema importante (Hahn et al., 2012). Esto requiere la adopción de un enfoque de paisaje para la hidrología, donde la cobertura y la gestión del suelo son el centro de atención y ambos se consideran con respecto al rendimiento del paisaje deseado. Se debe evitar sobre todo la tierra desnuda (a menos que sea natural, como en desiertos o casquetes polares, por ejemplo) ya que contribuye significativamente a la degradación del suelo o tierra, incluida la erosión y la productividad del agua (FAO / GTIS, 2015a).

***Los suelos***

Los suelos juegan un importante papel, a menudo subestimado, en el movimiento, almacenamiento y transformación del agua. Los suelos son complejos sistemas vivos y sus procesos hidrobiológicos están estrechamente vinculados a su salud ecológica. La cantidad de agua que se infiltra, evapora o percola a través de la tierra depende no solo de la vegetación y el clima, sino también de la geometría del espacio poroso del suelo y, por lo tanto, de su estructura. Además, las condiciones en la superficie del suelo (cubierta vegetal, estructura del suelo, etc.) controlan la separación de la lluvia en escorrentía e infiltración superficial. En la zona de la raíz, el agua infiltrada se separa entonces entre la evaporación y la transpiración, por una parte, y la percolación profunda por la otra. Los cambios en el manejo y la cobertura del suelo afectan a su estructura y, por ende, modifican estas propiedades del suelo. Por ejemplo, en un caso extremo, el sellado del suelo por carreteras y otras infraestructuras en las ciudades socava por completo la hidrología del suelo, lo que resulta en la pérdida de infiltración, ocasionando que las precipitaciones se desvíen al flujo superficial, el cual contribuye frecuentemente a las inundaciones. Además, la salud de los suelos, y en particular su capacidad para apoyar el ciclo de nutrientes, tiene una gran influencia en la calidad del agua, particularmente en los sistemas agrícolas (FAO, 2011b).

El sistema suelo-vegetación es el primer receptor de precipitación y energía que cae sobre la tierra. La zona comprendida entre los rangos superiores del nivel freático (o roca del basamento) y la del nivel de la cubierta vegetal del suelo es fundamental para controlar la cantidad y calidad del agua terrestre (FAO/GTIS, 2015a). Aproximadamente el 65% del agua que cae a la tierra se almacena o se

> Las aplicaciones de las SbN deben basarse menos en suposiciones generalizadas y deben evaluarse mejor y diseñarse específicamente para uso local

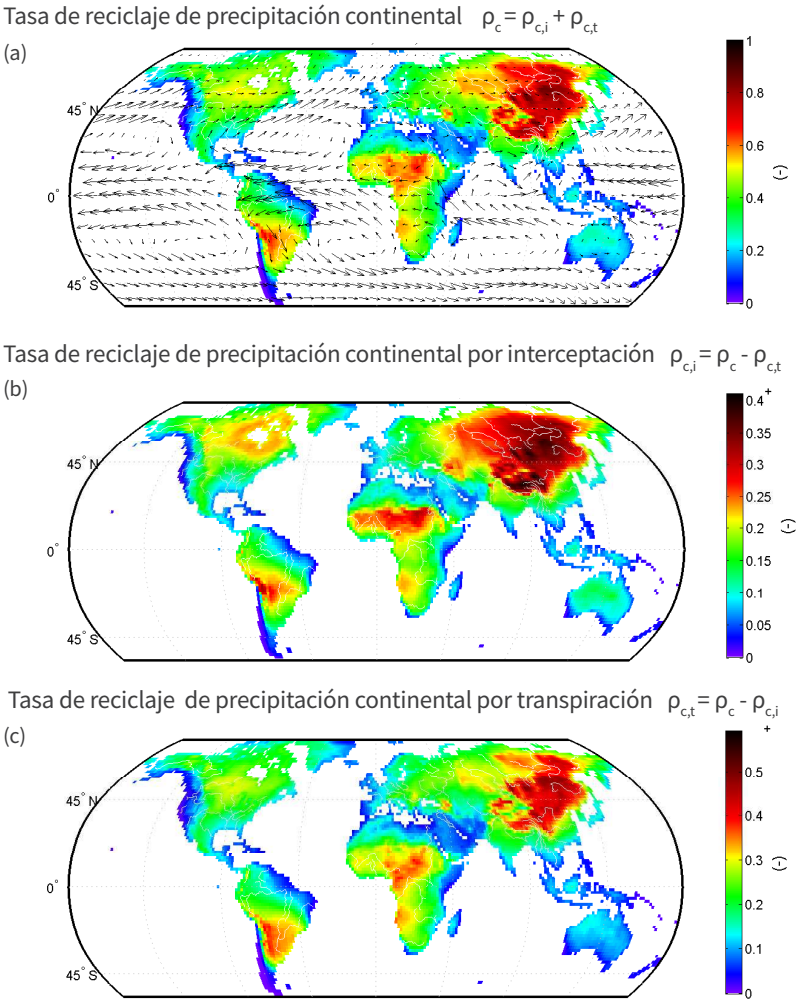
evapora del suelo y las plantas (Oki y Kanae, 2006). Del agua almacenada en la tierra, más del 95% se acumula en las zonas vadosas (poco profundas) y saturadas (aguas subterráneas) del suelo, excluyendo el agua que aún se conserva en los glaciares (Bockheim y Gennadiyev, 2010). Aunque el agua del suelo en la capa superior, que es biológicamente más activa, comprende solo el 0,05% de la reserva mundial de agua dulce (FAO / GTIS, 2015a), los flujos ascendentes y descendentes de agua y energía a través del suelo son vastos y están estrechamente relacionados. Estas cifras indican claramente la importancia del agua del suelo para el equilibrio tierra-agua-energía del planeta, incluyendo el intercambio entre el agua del suelo y la precipitación por transpiración y una posible retroalimentación positiva a medida que el clima se caliente en el futuro (Huntington, 2006).

***Los humedales***

Aunque solo alrededor del 2,6% de la tierra está cubierta por masas de agua continentales (FAO/GTIS, 2015b), estos humedales, incluidos ríos y lagos[4] , desempeñan un papel desproporcionadamente grande en la hidrología por unidad de superficie. El argumento para la conservación de los humedales a menudo se hace en términos de procesos hidrológicos, que incluyen la recarga y descarga de aguas subterráneas, la alteración del flujo de caudales, la estabilización de los sedimentos y la calidad del agua (Maltby, 1991). Los humedales costeros también juegan un

[4] La Convención de Ramsar sobre Humedales (1971) adopta una definición extremadamente amplia de humedales como " áreas de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, tanto naturales como artificiales, permanentes o temporales, de aguas estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluídas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros" (Artículo 1). Esta definición también es adoptada por la Convención sobre Diversidad Biológica ( CDB, 1992) y por lo tanto es la que se utiliza en este informe. Por tanto, los "humedales" incluyen ríos, lagos, embalses, manglares y suelos permanentemente saturados (especialmente turberas), entre otros tipos. Sin embargo, la terminología varía entre países y grupos de usuarios, ya que muchos consideran los humedales solo como zonas naturales poco profundas con mucha vegetación, como "pantanos", "ciénagas","marismas", etc. Por lo tanto, se debe tener cuidado al referirse a "humedales" en general o a un subconjunto de humedales, con la calificación que corresponda.

**Figura 1.2** **Reciclaje de precipitaciones continentales (1999–2008):**




Nota: La escala de color de (b) termina en 0,41, que es la fracción promedio global de los flujos de evaporación directa (intercepción); la escala de color de (c) termina a 0,59, que es la fracción promedio global del flujo evaporativo diferido (transpiración). Las flechas en (a) indican los flujos de humedad integrados verticalmente.

*Fuente: Van der Ent et al. (2014, fig. 2, pág.477).*

papel importante en la RRD relacionada con el agua: los manglares, por ejemplo, y en menor medida las marismas, pueden reducir la energía de las olas y las corrientes, estabilizando los sedimentos con sus raíces y reduciendo el riesgo de inundaciones por mareas de tormenta.

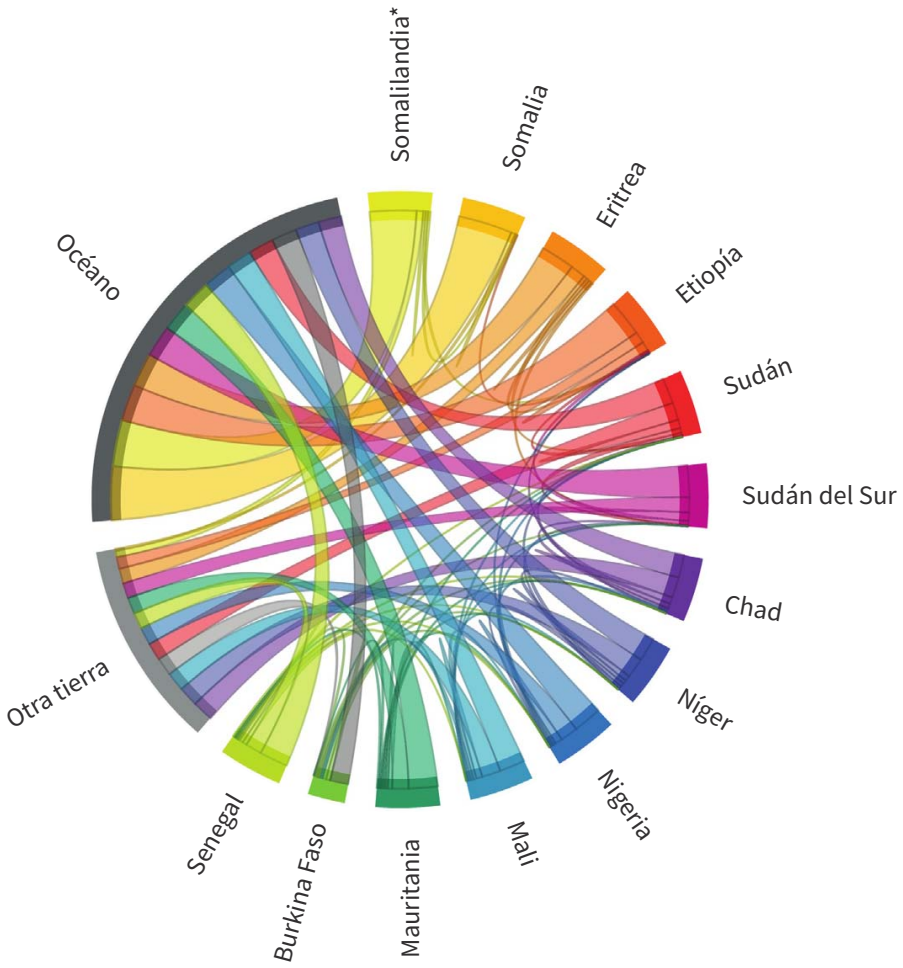
### 1.3.3. Uso del suelo y cambio de uso del suelo

El *uso del suelo* y *el cambio de uso del suelo* inducidos directamente por el hombre (LULUC, por sus siglas en inglés) analiza las influencias de los componentes terrestres de los ecosistemas (incluyendo la cobertura de suelo, por ejemplo, bosque natural versus tierras de cultivo), y en algunos casos los humedales, en la hidrología. El LULUC es un determinante importante de los ciclos del agua a escala local, regional y continental.

Los ecosistemas hacen importantes contribuciones al reciclaje de precipitaciones desde las escalas locales a las continentales. El 40% de las precipitaciones anuales a nivel mundial se originan de la evaporación terreste contra el viento, y esta fuente representa más de la mitad de las precipitaciones en algunas regiones; el resto se origina de los océanos (Keys et al., 2016). La contribución de la vegetación a la precipitación local puede ser mucho mayor. Incluso hay áreas donde la vegetación es la principal o única fuente de agua superficial local, tal es el caso de la vegetación como elemento de captación de agua de las nubes en ausencia estacional de precipitación local (Hildebrandt y Eltahir, 2006). En vez de considerar a la vegetación como "consumidor" de agua, sería más apropiado verla como un "reciclador" de agua (Aragão, 2012).

A escala local, la gestión de cultivos y suelos en los campos influye de manera importante en la hidrología local (FAO, 2011b). Cabe destacar que, a parte de su alcance, todas las tierras de cultivo y pastizales se encuentran bajo una gestión activa y generalmente intensiva. Los factores que influyen en la hidrología de las tierras de cultivo incluyen el tipo de cultivo y el uso de productos químicos, el espaciamiento y rotación de cultivos y, en

**Figura 1.3** **Fuentes de precipitación en la región del Sahel**




Nota: El ancho del flujo corresponde a la fracción de precipitación recibida en el país/[territorio]. El color de un flujo corresponde al país/[territorio] en el cual ese flujo de humedad cae como precipitación. Cuando dos países/[territorios] intercambian humedad entre sí, el color de ese flujo corresponde al país con la mayor fracción (neta) recibida como lluvia. Partiendo del océano, los países/[territorios] se enumeran en el sentido de las manecillas del reloj de este a oeste.

* Somalilandia es una región autónoma de Somalia, sujeta al Gobierno Federal de Somalia.

*Fuente: Keys et al. (2017, fig. 6, pág.18). © Reproducido con permiso de Elsevier.*

particular, la alteración del suelo por las prácticas de labranza, entre otras. Todos ellos pueden ajustarse para gestionar la disponibilidad de agua de cultivo, la recarga de agua subterránea, las tasas de evaporación, la escorrentía superficial, erosión y disponibilidad de nutrientes de las plantas, entre otros factores, y tienen efectos significativos en la disponibilidad y calidad del agua dentro y fuera de las granjas, incluso a escala de paisaje (FAO, 2011b).

El reciclaje de la precipitación a escalas continentales se ilustra en la Figura 1.2. Otros ejemplos incluyen la evaporación en la cuenca del río Congo, la cual representa una importante fuente de precipitación para la región del Sahel, y la cuenca del Río de la Plata en Uruguay y Argentina, donde el 70% de la lluvia se origina como evaporación de la selva amazónica (Van der Ent et al., 2010) . Como tal, la deforestación y otros LULUC que afectan al ciclo hidrológico en la Amazonia amenazan la producción agrícola fuera del Amazonas (Nobre, 2014). Del mismo modo, el Golfo de Guinea y la humedad de toda África Central juegan un papel importante en la generación de flujos para el Nilo a través de las tierras altas de Etiopía (Viste y Sorteberg, 2013). La eliminación de la vegetación probablemente tenga impactos más severos sobre la lluvia en áreas más secas, lo que contribuye a una mayor escasez de agua, degradación de la tierra y desertificación en esas áreas (Keys et al., 2016).

Las decisiones sobre el uso de suelo en un lugar, por lo tanto, pueden tener importantes consecuencias para los recursos hídricos, las personas, la economía y el medio ambiente en lugares distantes. El reciclaje de precipitaciones crea interdependencias entre países que no necesariamente tienen que ser adyacentes ni compartir la misma cuenca (Figura 1.3). La influencia del factor LULUC en el movimiento de la humedad y la posterior precipitación desafía a la cuenca como la unidad común de manejo. La cuenca como unidad se ajusta mejor a la gestión de aguas superficiales y subterráneas, pero los recientes avances en hidrología han puesto de manifiesto las "cuencas atmosféricas", también conocidas como "cuencas de precipitación" (Keys et al., 2017).

### 1.3.4 Variaciones en hidrología dentro y entre los diferentes tipos de ecosistemas

Existe un alto grado de variación en los impactos de los ecosistemas en la hidrología, tanto dentro como entre los tipos o subtipos de ecosistemas, su ubicación y condición, clima y manejo. Esto advierte que hay que evitar suposiciones generalizadas sobre las SbN, ya que se requiere un conocimiento específico del sitio sobre su implementación en campo. Por ejemplo, los árboles pueden aumentar o disminuir la recarga de agua subterránea según el tipo de árbol, densidad y ubicación (Borg et al., 1988; Ilstedt et al., 2016). Las relaciones árbol-suelo y humedad-agua subterránea también dependen del tamaño y la edad de los árboles en cuestión (Dawson, 1996). Los bosques suelen tener tasas de evaporación mucho mayores que los pastizales, donde las precipitaciones superan los 2.000 mm/año, pero registran tasas comparables donde la lluvia es inferior a 500 mm/año (Zhang et al., 2001). Los humedales "actúan como una esponja", lo que reduce las inundaciones y previene las sequías, pero algunos humedales de cabecera pueden aumentar las inundaciones río abajo (Bullock y Acreman, 2003). El rendimiento hidrológico de los suelos también varía ampliamente entre los tipos de suelo, su estado y gestión (FAO / GTIS, 2015a). No debe suponerse que los ecosistemas "naturales" son necesariamente mejores en términos de hidrología. Mucho depende de lo que se requiere de un área o paisaje, incluyendo los beneficios no hidrológicos y cómo estos pueden ser conmesurables con los costos generales de gestión.

### 1.3.5 El papel de la biodiversidad

La biodiversidad es relevante para las SbN de dos maneras. En primer lugar, la biodiversidad tiene un papel funcional en las SbN que sustenta los procesos y funciones de los ecosistemas y, por lo tanto, la prestación de servicios ecosistémicos (Hooper et al., 2005). La biota del suelo, por ejemplo, constituye una comunidad viva importante en el sistema del suelo, que proporciona una amplia gama de servicios de suelo esenciales al estructurar la capacidad metabólica y las funciones del suelo (Van der Putten et al., 2004). Las reducciones en la biodiversidad del suelo tienden a asociarse con impactos negativos en el carbono orgánico del suelo, la humedad e infiltración y, por lo tanto, la escorrentía, erosión y recarga de aguas subterráneas (FAO, 2011b). Estos impactan de manera colectiva en la calidad del agua, especialmente en relación con las cargas de nutrientes y la sedimentación (FAO / GTIS, 2015a). De manera similar, los bosques, pastizales y humedales en su estado natural tienden a ser más biodiversos, tienen diferentes perfiles hidrológicos y ofrecen mejores servicios ecosistémicos generales que en un estado gestionado o perturbado. La biodiversidad también mejora la resiliencia, o la capacidad de un sistema para recuperarse de las presiones externas, como las sequías o los errores de gestión (Fischer et al., 2006).

> La infraestructura urbana verde se está haciendo cada vez más popular, como lo demuestra el aumento de la inversión

En segundo lugar, la biodiversidad es relevante para las SbN en el sentido de lograr los objetivos de "conservación" de la biodiversidad, independientemente de su papel funcional con respecto al agua. Dado que las SbN se basan en mejorar el alcance, la condición o la salud de los ecosistemas, por regla general tienden a ayudar a conservar la biodiversidad como beneficio colateral significativo. Sin embargo, este no siempre es el caso. Por ejemplo, el uso de un humedal natural existente para hacer frente al exceso de cargas de nutrientes, indudablemente cambiaría su carácter ecológico y, en consecuencia, la biodiversidad que sustenta. El que esto deba hacerse dependerá de la capacidad de carga potencial del humedal, los posibles puntos de inflexión del ecosistema y las características y usos deseados del humedal (WWAP, 2017). En Europa, el rehabilitar las tierras de cultivo infrautilizadas en áreas más naturales, por ejemplo, como zonas ribereñas que protegen los ríos, o para mejorar los servicios de las cuencas, puede conducir a la pérdida de biodiversidad única, en los casos en que la agricultura fue necesaria para sustentarla (CDB, 2015). Tales observaciones advierten de la necesidad, cuando corresponda, de incluir la biodiversidad en las evaluaciones de impacto de las SbN y, donde estén indicadas, formas de protección de la biodiversidad en las aplicaciones de las SbN.

**Tabla 1.1** Ejemplos de servicios ecosistémicos y algunas funciones que desempeñan

| Categoría de servicio ecosistémico | Ejemplo de funciones y beneficios ecosistémicos |
|---|---|
| **Servicios ecosistémicos relacionados con el agua*** | |
| *Servicios de aprovisionamiento* – Productos obtenidos de los ecosistemas | |
| Suministro de agua dulce | Proporcionar agua dulce para el consumo humano y las necesidades humanas |
| *Servicios de regulación* – beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos | |
| Regulación del agua | Regulación de la presencia de agua en el tiempo y el espacio - aguas superficiales y descarga/recarga de aguas subterráneas |
| Regulación de la erosión | Estabilización de suelos (vincula a la regulación de peligros naturales y apoya a los servicios de aprovisionamiento) |
| Regulación de sedimentos | Regulación de la formación impulsada por el agua y el flujo de sedimentos a través del sistema, incluyendo la deposición para mantener los humedales costeros y la tierra construida |
| Purificación de agua y tratamiento de residuos | Absorción, procesamiento y retención de los nutrientes y la contaminación, deposición de partículas |
| Regulación de peligros naturales | Reducción del riesgo de desastres relacionados con el agua |
| - Protección costera | - Atenuar/disipar el oleaje, amortiguar los vientos |
| - Protección contra inundaciones | - Almacenar agua o aminorar el flujo de agua para reducir los picos de inundación |
| - Protección contra la sequía | - Proporcionar fuentes de agua durante los períodos de sequía |
| Regulación climática/reciclaje de humedad | Influir en las precipitaciones locales y regionales y la humedad y en los efectos de enfriamiento locales/regionales a través de la evaporación |
| **Servicios ecosistémicos dependientes del agua (otros servicios o beneficios colaterales)**** | |
| *Servicios de aprovisionamiento* – Productos obtenidos de los ecosistemas | |
| Alimentos y fibras | Pesca, productos agrícolas, recursos forestales no maderables |
| Energía | Energía hidroeléctrica y bioenergía |
| Recursos genéticos | Fuente de materiales genéticos, p. ej., para la agricultura, medicinas |
| Bioquímicos, medicinas naturales, productos farmacéuticos | Productos químicos, medicamentos y productos farmacéuticos derivados de la biota viva |
| *Servicios de regulación* – beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos | |
| Regulación de la calidad del aire | Ciclos de dióxido de carbono y oxígeno, control de la contaminación del aire |
| Regulación climática | Secuestro de carbono – regulación de las emisiones de gases de efecto invernadero y cargas atmosféricas |
| Regulación de plagas y enfermedades | Influir en la existencia, grado y severidad de plagas y enfermedades humanas, vegetales y animales<br>La gestión integrada de plagas que mejora la regulación natural de las mismas puede reducir el uso de plaguicidas – mejorando la calidad del agua y las condiciones del suelo y su papel en el ciclo del agua |
| Polinización | Sustentar la polinización animal de las plantas para apoyar la producción de cultivos y la biodiversidad |
| *Servicios de apoyo* – Servicios necesarios para la prestación de todos los demás servicios | |
| Ciclo de nutrientes | Mantiene el funcionamiento general del ecosistema |
| Producción primaria | Sustenta la vida en la Tierra |
| Formación del suelo | Mantiene la producción regular de suelo para apoyar la mayoría de los demás servicios del ecosistema terrestre |
| *Servicios culturales* – Beneficios no materiales que las personas pueden obtener de los ecosistemas | |
| Valores espirituales, religiosos y totémicos | Creencias que dependen de la existencia de los ecosistemas (la naturaleza) |
| Valores estéticos | Beneficios derivados a través de los ecosistemas que se consideran como bellos, atractivos o son visualmente apreciados, etc. |
| Recreación y ecoturismo | Beneficios socioeconómicos (p. ej., medios de vida) basados en el turismo y la recreación, incluido el deporte (p. ej., la pesca recreativa) |

*Los servicios ecosistémicos relacionados con el agua son aquellos que influyen directamente en la cantidad y calidad del agua y, por lo tanto, sustentan las SbN.

**Los servicios ecosistémicos dependientes del agua, son aquellos que dependen del agua pero que no juegan un papel limitado en la cantidad o calidad del agua y se encuentran entre los beneficios colaterales de las SbN.

*Fuente: Basado en la Evaluación de los ecosistemas del milenio (2005) y Russi et al. (2012)*

### 1.3.6. Funciones, procesos y beneficios de los ecosistemas para las personas (servicios ecosistémicos)

Los procesos y funciones de los ecosistemas relacionados con el agua se pueden gestionar para brindar beneficios a las personas, en forma de "servicios ecosistémicos". Todos los servicios ecosistémicos dependen del agua, pero existen servicios ecosistémicos específicos que influyen directamente en la disponibilidad y calidad del agua, a los que se hace referencia, por ejemplo, como servicios de cuencas (Stanton et al., 2010), servicios de agua (Perrot- Maître y Davies, 2001) o servicios ecosistémicos relacionados con el agua (Coates et al., 2013). Algunos de estos servicios clave se enumeran en la Tabla 1.1.

Para simplificar, los servicios ecosistémicos relacionados con el agua se pueden agrupar en aquellos relacionados con el movimiento del agua (por ejemplo, evaporación, flujo superficiel e infiltración en el suelo), el almacenamiento de agua (principalmente en suelos, aguas subterráneas y humedales) o la transformación del agua, incluida su calidad (Acreman y Mountford, 2009). En conjunto, sustentan las tres dimensiones de los desafíos de los recursos hídricos de la mayoría, por no decir de todos, los sectores y cuestiones: disponibilidad de agua (abastecimiento o cantidad), calidad del agua y moderación de riesgos extremos (incluido el riesgo de desastres relacionados con el agua). Por lo tanto, los capítulos 2, 3 y 4 de este informe exploran cómo las SbN aportan servicios ecosistémicos para ayudar a gestionar el agua en cada una de estas tres áreas y contribuyen significativamente a los desafíos clave de la gestión de los recursos hídricos, incluida la calidad del agua potable; saneamiento e higiene (WaSH); seguridad hídrica para la seguridad alimentaria y la agricultura sostenible; construcción de asentamientos urbanos sostenibles; gestión de aguas residuales; reducción del riesgo de desastres (RRD); degradación de la tierra, sequía y desertificación y adaptación y mitigación del cambio climático.

Los servicios ecosistémicos dependientes del agua incluyen los productos obtenidos directamente de los ecosistemas (por ejemplo, alimentos, fibra y energía), los beneficios derivados de los procesos ecosistémicos (por ejemplo, calidad del aire y regulación del clima), los servicios de apoyo (por ejemplo, ciclo de nutrientes y formación del suelo) y servicios culturales (por ejemplo, de recreación).

Los contextos sociales y económicos, dentro de los cuales se establecen los servicios ecosistémicos, son importantes en términos de diseñar las SbN para satisfacer las necesidades de la sociedad, pero también pueden implementarse de manera efectiva. Por ejemplo, cuando se propone la restauración del ecosistema para rectificar un problema causado por la pérdida previa de los servicios ecosistémicos, es esencial saber qué factores, directos e indirectos, causaron tal pérdida. A menos que se puedan abordar estos impulsores, es poco probable que las SbN tengan éxito.

> La mayor parte de las aplicaciones de las SbN, incluso en los paisajes urbanos, implican esencialmente el manejo de la vegetación, los suelos y/o los humedales (incluidos ríos y lagos)

### 1.3.7. Infraestructura verde

La *infraestructura verde (para el agua)* se refiere a los sistemas naturales o seminaturales que ofrecen opciones de gestión de los recursos hídricos con beneficios equivalentes o similares a la infraestructura convencional de agua gris (construida/física). La infraestructura verde es la aplicación de una SbN. Los términos *infraestructura ecológica* y *natural* a menudo se usan para describir activos similares. Por lo general, las soluciones de infraestructura verde implican un esfuerzo deliberado y consciente para utilizar los servicios ecosistémicos a fin de proporcionar beneficios primarios de gestión del agua, así como una amplia gama de beneficios colaterales secundarios, utilizando un enfoque más holístico (PNUMA-DHI/UICN/TNC, 2014). La infraestructura verde se reconoce cada vez más como una oportunidad importante para abordar los complejos desafíos de la gestión del agua y puede utilizarse para respaldar objetivos en múltiples ámbitos de políticas (Tabla 1.2). Si se implementa en áreas más grandes, la infraestructura verde puede ofrecer beneficios a escala de paisaje (Figura 1.4).

La cuestión de si las soluciones de infraestructura verde o gris son preferibles ha sido objeto de debate (Palmer et al., 2015). La perspectiva "gris" argumenta que los extensos vínculos entre la infraestructura de agua gris y el desarrollo económico están bien establecidos, que el desarrollo socioeconómico se ve restringido en países con una infraestructura gris insuficiente para gestionar el agua, que muchos países en desarrollo son "rehenes de su hidrología", y por consiguiente se necesita más infraestructura gris (Muller et al., 2015). Se ha abogado por un enfoque de SbN en parte debido a los impactos ambientales y sociales adversos asociados con la infraestructura gris a gran escala. En este caso, el argumento ofrecido es que se necesita rediseñar los enfoques convencionales para que funcionen con los sistemas naturales en lugar de en su contra, con las SbN proporcionando alternativas o complementos a la infraestructura gris, ya que pueden ser igual o más rentables

**Tabla 1.2** Soluciones de infraestructura verde para la gestión de los recursos hídricos

| Cuestión relativa a la gestión del agua (Servicio primario a ser proporcionado) | | Solución de Infraestructura verde | Ubicación | | | | Solución correspondiente de Infraestructura gris (en el nivel de servicio primario) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cuenca | Llanura inundable | Urbano | Costera | |
| Regulación del suministro de agua (incl. mitigación de la sequía) | | Reforestación y conservación forestal | ■ | | | | Presas y bombeo de aguas subterráneas Sistemas de distribución de agua |
| | | Reconectar ríos a llanuras de inundación | | ■ | | | |
| | | Restauración/conservación de humedales | ■ | ■ | ■ | | |
| | | Construcción de humedales | ■ | ■ | ■ | | |
| | | Captación de agua* | ■ | ■ | ■ | | |
| | | Espacios verdes (biorretención e infiltración) | | | ■ | | |
| | | Pavimentos permeables* | | | ■ | | |
| Regulación de la calidad del agua | Potabilización de agua | Reforestación y conservación forestal | ■ | | | | Planta de tratamiento de agua |
| | | Zonas de amortiguación ribereñas | | ■ | | | |
| | | Reconectar ríos a llanuras de inundación | | ■ | | | |
| | | Restauración/conservación de humedales | ■ | ■ | ■ | | |
| | | Construcción de humedales | ■ | ■ | ■ | | |
| | | Espacios verdes (biorretención e infiltración) | | | ■ | | |
| | | Pavimentos permeables* | | | ■ | | |
| | Control de erosión | Reforestación y conservación forestal | ■ | | | | Reforzamiento de pendientes |
| | | Zonas de amortiguación ribereñas | | ■ | | | |
| | | Reconectar ríos a llanuras de inundación | | ■ | | | |
| | Control biológico | Reforestación y conservación forestal | ■ | | | | Planta de tratamiento de agua |
| | | Zonas de amortiguación ribereñas | | ■ | | | |
| | | Reconectar ríos a llanuras de inundación | | ■ | | | |
| | | Restauración/conservación de humedales | ■ | ■ | ■ | | |
| | | Construcción de humedales | ■ | ■ | ■ | | |
| | Control de la temperatura del agua | Reforestación y conservación forestal | ■ | | | | Presas |
| | | Zonas de amortiguación ribereñas | | ■ | | | |
| | | Reconectar ríos a llanuras de inundación | | ■ | | | |
| | | Restauración/conservación de humedales | ■ | ■ | ■ | | |
| | | Construcción de humedales | ■ | ■ | ■ | | |
| | | Espacios verdes (sombra de vías navegables) | | | ■ | | |
| Moderación de fenómenos meteorológicos extremos (inundaciones) | Control de inundaciones ribereñas | Reforestación y conservación forestal | ■ | | | | Presas y diques |
| | | Zonas de amortiguación ribereñas | | ■ | | | |
| | | Reconectar ríos a llanuras de inundación | | ■ | | | |
| | | Restauración/conservación de humedales | ■ | ■ | ■ | | |
| | | Construcción de humedales | ■ | ■ | ■ | | |
| | | Establecer derivaciones de inundación | | ■ | | | |
| | Escurrimiento urbano de aguas pluviales | Techos verdes | | | ■ | | Infraestructura urbana de aguas pluviales |
| | | Espacios verdes (biorretención e infiltración) | | | ■ | | |
| | | Captación de agua* | ■ | ■ | ■ | | |
| | | Pavimentos permeables* | | | ■ | | |
| | Control de inundaciones costeras (tormentas) | Protección/restauración de manglares, marismas costeras y dunas | | | | ■ | Malecones |
| | | Protección/restauración de arrecifes (corales/ostras) | | | | ■ | |

*Elementos construidos que interactúan con las características naturales para mejorar los servicios ecosistémicos relacionados con el agua.

*Fuente: PNUMA-DHI/ UICN/TNC (2014, tabla 1, pág. 6).*

**Figura 1.4** **Soluciones de infraestructura natural o verde para la gestión del agua a través de un paisaje**




*Fuente: Infografía 'Infraestructura natural para la gestión hídrica", © Agua-UICN 2015.*

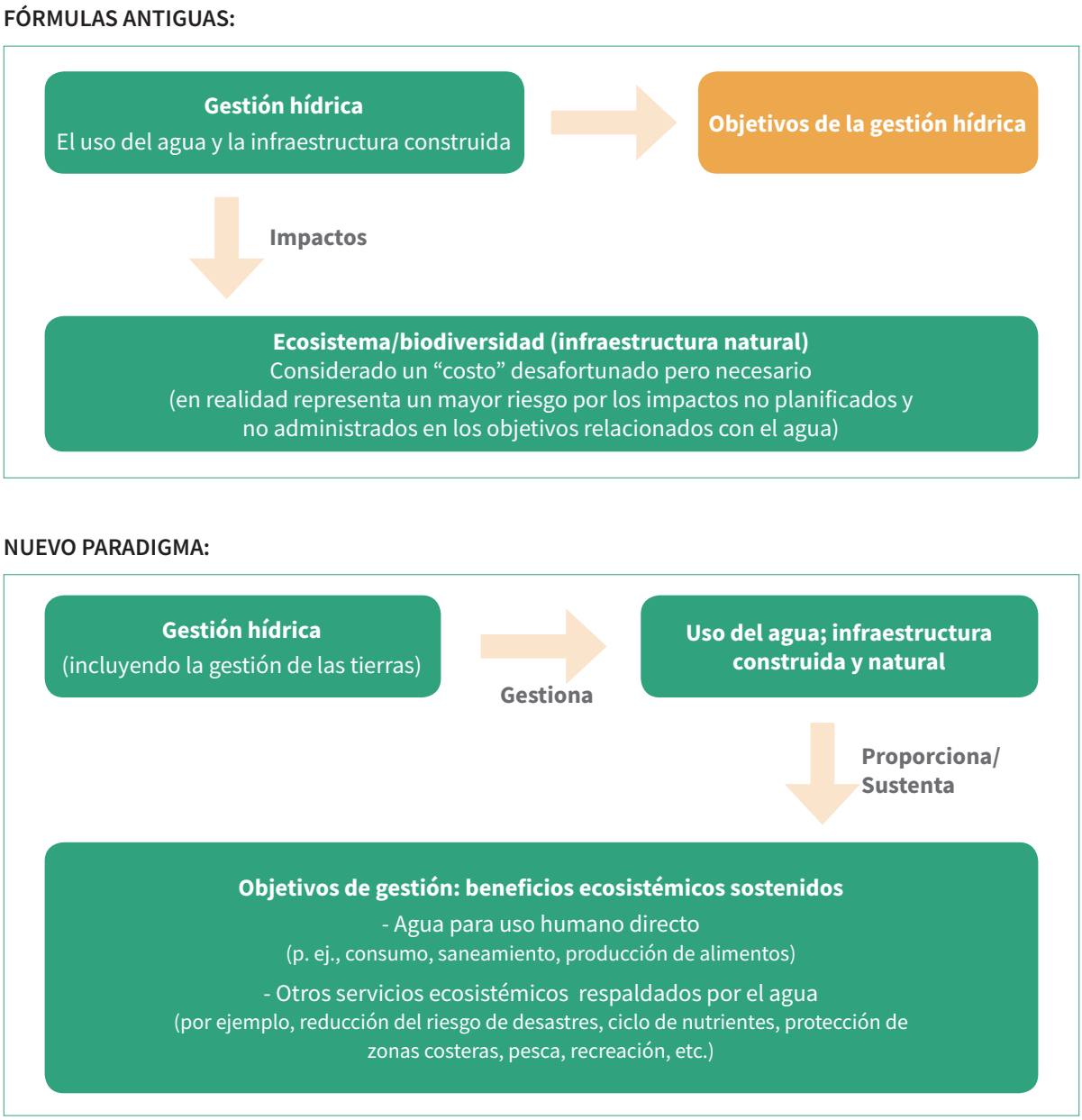
y proporcionar muchos beneficios colaterales que a menudo caen en el olvido cuando la gestión del agua se define e implementa en términos demasiado restringidos (Palmer et al., 2015).

Sin embargo, el debate sobre la infraestructura verde o gris es una dicotomía falsa (McCartney y Dalton, 2015). En él se sugiere la necesidad de elegir uno u otro, mientras que en realidad la elección suele ser qué combinación de cada uno es la más apropiada y a qué escala. Hay ejemplos donde los enfoques basados en la naturaleza ofrecen la solución principal o la única viable (p. ej., la restauración del paisaje para combatir la degradación del suelo y la desertificación) y ejemplos donde solo funciona una solución gris (por ejemplo, suministrar agua a un hogar mediante tuberías y grifos), pero en la mayoría de los casos, la infraestructura verde y gris pueden y deben funcionar juntas. En cualquier caso, la gestión del agua ya se basa en una combinación verde y gris, dado que los ecosistemas son siempre el origen del agua que posteriormente se gestiona a través de una infraestructura gris. Algunos de los mejores ejemplos de la aplicación de las SbN son las formas en que se pueden utilizar para mejorar el rendimiento de la infraestructura gris. Por ejemplo, la esperanza de vida económica de la presa hidroeléctrica de Itaipú en Brasil y Paraguay, una de las más grandes del mundo, se multiplicó por seis mediante la aplicación de prácticas mejoradas de gestión del paisaje y de cultivo en la cuenca para reducir la sedimentación en el embalse, al tiempo que mejoraban la productividad y los ingresos del agricultor (Kassam et al., 2012).

### 1.3.8. Beneficios colaterales de las SbN

Una característica clave de las SbN es que tienden a ofrecer grupos de servicios ecosistémicos a la vez (Tabla 1.1), incluso cuando solo uno es el objetivo de la gestión. Las SbN generalmente ofrecen múltiples beneficios relacionados con el agua y a menudo ayudan a abordar la cantidad, calidad y riesgos del agua de manera simultánea. Además, las SbN a menudo ofrecen beneficios colaterales más allá de los servicios ecosistémicos relacionados

**Figura 1.5** Enfoques evolutivos del nexo agua-ecosistema. El énfasis se ha desplazado de la observación de los impactos en los ecosistemas a la gestión de los ecosistemas para el logro de los objetivos de gestión hídrica




*Fuente: Coates y Smith (2012, fig. 2, pág.171).*

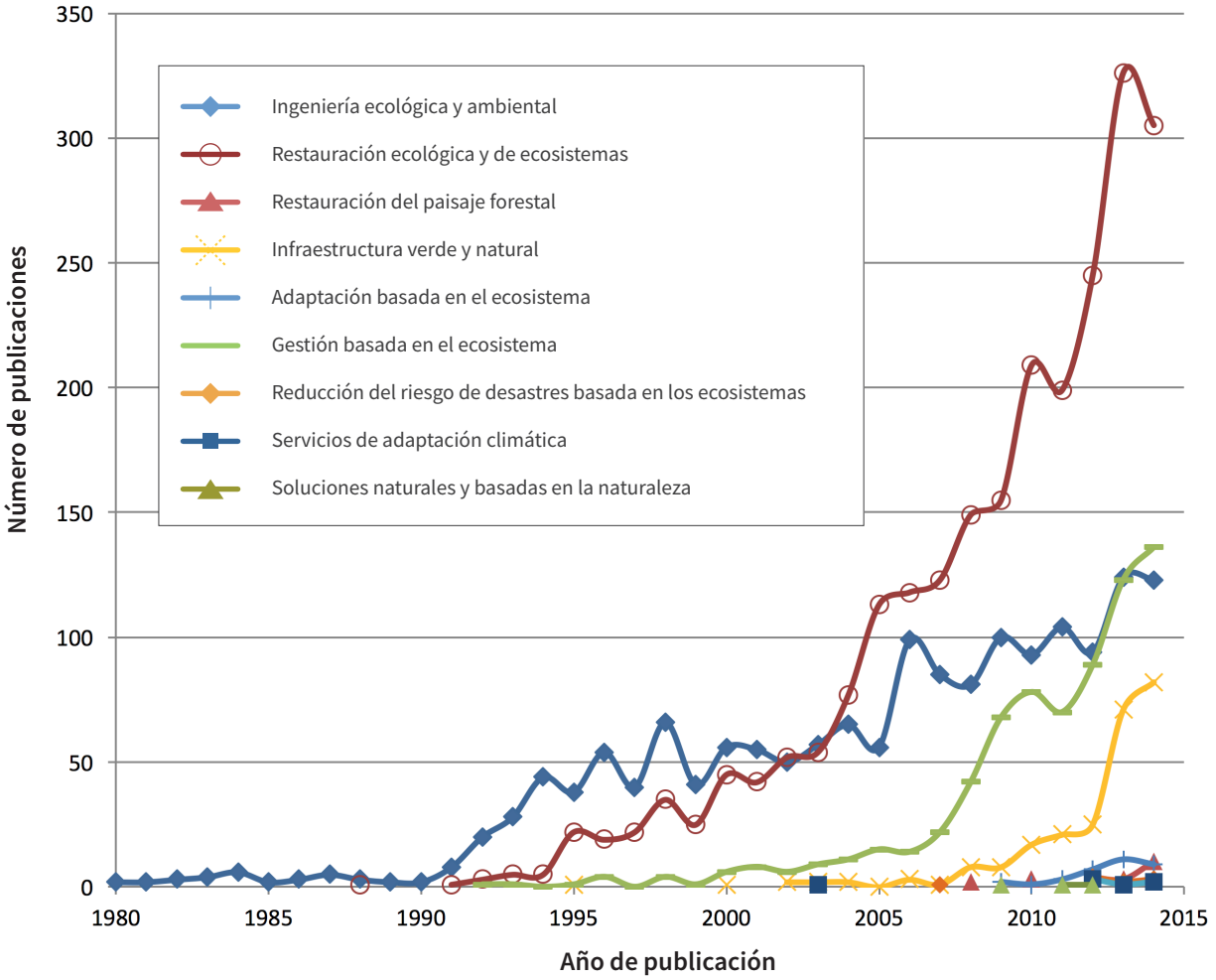
con el agua. Por ejemplo, los humedales construidos, utilizados para el tratamiento de aguas residuales, pueden proporcionar biomasa para la producción de energía (Avellán et al., 2017). La creación o restauración de los ecosistemas puede crear o mejorar las pesquerías, los recursos forestales madereros y no madereros, la biodiversidad, los valores paisajísticos y servicios culturales y recreativos, lo que a su vez puede generar beneficios socioeconómicos adicionales que incluyen mejores medios de vida y reducción de la pobreza, así como nuevas oportunidades de empleo y la creación de trabajos decentes (WWAP, 2016). El valor de algunos de estos beneficios puede ser sustancial y puede inclinar las decisiones de inversión a favor de las SbN. Otra ventaja clave de las SbN es la forma en que contribuyen a la construcción de la resiliencia general del sistema.La creciente atención hacia las SbN.

## 1.4 Creciente atención a SbN

### 1.4.1. Agua, medio ambiente y desarrollo

En las primeras etapas de la agenda de desarrollo moderna, la relación entre el desarrollo y el medio ambiente solía caracterizarse como una de las compensaciones (trade-offs) y particularmente en lo que respecta al tema del

**Figura 1.6** Tendencias en el número de trabajos de investigación que citan las SbN y enfoques relacionados 1980-2014




Nota: Las soluciones "naturales" y "basadas en la naturaleza" son términos que no se usan ampliamente en la comunidad académica, y por lo tanto las tendencias en su uso no están bien reflejadas en esta.

*Fuente: Cohen-Shacham et al. (2016, fig. 8, pág. 23, en base a datos de la Red de la Ciencia).*

agua. Los impactos ambientales son bien conocidos, pero se consideran un costo de desarrollo aceptable. Más recientemente, el diálogo sobre el agua y el medio ambiente se ha desplazado significativamente hacia las formas en que el medio ambiente puede ser gestionado para apoyar las necesidades humanas de agua (Figura 1.5). Un cambio similar en la atención se puede encontrar en la comunidad empresarial y en diversos foros de políticas. El resultado neto ha sido una significativa transición hacia las SbN en épocas recientes, particularmente durante los últimos diez años.

### 1.4.2. El caso de negocio de las SbN

Las empresas están cada vez más interesadas en invertir en el capital natural y las SbN, impulsadas por un convincente caso de viabilidad comercial.[5] Los propulsores comerciales para las SbN incluyen: limitaciones de recursos; requisitos de regulación; cambio climático y eventos climáticos severos; inquietudes por parte de los actores; beneficios financieros directos; ganancias operativas, financieras y de reputación de los cobeneficios ambientales; y ganancias operativas, financieras y de reputación de los cobeneficios sociales.

### 1.4.3. Acuerdos ambientales multilaterales y marcos globales sobre seguridad alimentaria, reducción del riesgo de desastres y cambio climático

Se puede identificar una cronología a través de la agenda de investigación, con atención a las SbN o terminología similar, que surgió alrededor de 1990 [coincidiendo con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible de 1992, de la cual surgió el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB, 1992), la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación

[5] Para obtener una descripción detallada del caso de negocio, visite la plataforma de Infraestructura natural para la actividad comercial en www.naturalinfrastructureforbusiness.org/.

(CNULD, 1994) y el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992)], e intensificándose en el período del 2000 al 2005 en adelante (Figura 1.6). Un factor clave fue la creciente atención al concepto de servicios ecosistémicos a partir del 2000 en adelante y la mejora de los esfuerzos para valorarlos, propiciando un mejor compromiso con los responsables políticos. Un hito fue la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2005).

Antes del año 2010, el Convenio sobre la Diversidad Biológica abordó el tema del agua dulce en gran parte desde la perspectiva de la mitigación de los impactos de la gestión hídrica en la biodiversidad. Pero paralelamente con los esfuerzos más amplios para vincular la biodiversidad más explícitamente con el desarrollo, un hito importante fue la adopción de la referencia a los servicios ecosistémicos relacionados con el agua bajo la Meta 14 de Biodiversidad de Aichi: *"Para 2020, se han restaurado y salvaguardado los ecosistemas que proporcionan servicios esenciales, incluidos los servicios relacionados con el agua y que contribuyen a la salud, los medios de vida y el bienestar..."* (CDB, 2010, párrafo 13). Este fue el precursor de la primera expresión explícita de la relación positiva entre los ecosistemas y el agua en la agenda global de desarrollo sostenible en el documento final de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Rio +20) (CNUDS, 2012), El futuro que queremos, en su párrafo 122: *"Reconocemos que los ecosistemas desempeñan una función esencial en el mantenimiento de la cantidad y calidad del agua y apoyamos las acciones sostenibles de protección y gestión de estos ecosistemas dentro de las respectivas fronteras nacionales"*.

Las SbN se reconocen cada vez más y de manera más evidente en otros foros. Están en el centro de las medidas preventivas y restauradoras para combatir la degradación de la tierra bajo la CNULD: En 2015, su 12ª Conferencia de las Partes vinculó la implementación a los ODS y particularmente su meta 15.3: *"Para 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo"*. Los enfoques basados en la naturaleza para la RRD han sido reconocidos desde hace tiempo (Renaud et al., 2013).

Sin embargo, el papel de los ecosistemas en la RRD recientemente recibió una atención significativa en los marcos globales, como lo demuestra la creciente atención hacia los ecosistemas en el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 en comparación con su predecesor, el Marco de Acción de Hyogo 2005-2015 (PNUMA, 2015). La actual agenda global sobre seguridad alimentaria también ha adoptado la función central de las SbN, tal como se refleja, por ejemplo, en el *Marco Estratégico Revisado 2010-2019* para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), respaldado por la Conferencia de

> La gestión basada en los ecosistemas debe ser el principal medio de adaptación al cambio climático, y esto en gran medida implica el uso de las SbN para el agua

la FAO de junio de 2013 (FAO, 2014a). En los *Principios Voluntarios para la Inversión Responsable en la Agricultura y los Sistemas Alimentarios*, aprobados por el Comité de Seguridad Alimentaria Mundial en octubre de 2014, se incluyeron enfoques similares a los de las SbN, como, por ejemplo su Principio 6: *"conservar y gestionar de forma sostenible los recursos naturales, aumentar la resiliencia y reducir los riesgos de desastres"* (CFS, 2014).

Las SbN son fundamentales para abordar el cambio climático. ONU-Agua hizo hincapié en que los impactos del cambio climático se dan en gran medida en la hidrología y los recursos hídricos (ONU-Agua, 2010). La variación en el ciclo del agua es fundamental para la mayoría de los cambios relacionados con el cambio climático en los ecosistemas y el bienestar humano, y los impactos del cambio climático derivados del cambio en los ecosistemas (SEG, 2007, IPCC, 2014). Esto implica que la gestión basada en los ecosistemas debe ser el principal medio de adaptación al cambio climático, y esto en gran medida implica el uso de las SbN para el agua. Las SbN ya están reconocidas en la agenda de cambio climático. Los Programas de Acción para Adaptación Nacional, bajo la CMNUCC destacan a menudo los enfoques de adaptación basados en los ecosistemas. Las fuertes interdependencias entre los ciclos del carbono y el agua también crean importantes sinergias entre la mitigación y adaptación al cambio climático. Por ejemplo, la *Reducción de emisiones derivadas de la deforestación y degradación forestal* (REDD+) es la aplicación de un enfoque basado en la naturaleza para gestionar el clima global, principalmente para la mitigación del cambio climático, pero la función de los árboles en la hidrología crea vínculos sustanciales con la adaptación. Además, alrededor del 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero proviene del cambio en el uso de la tierra (FAO, 2014b) y la pérdida de agua está implicada en muchas tendencias de la degradación de la tierra; las turberas, por ejemplo, desempeñan un papel significativo en la hidrología local, pero este tipo de humedales también almacena el doble del carbono

de los bosques del mundo entero y cuando se drenan, las turberas son una fuente de emisiones masivas de gases de efecto invernadero (Parish et al., 2008).

### 1.4.4. La vinculación de las SbN con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y sus ODS

Las SbN incorporan los tres principios básicos de la implementación de los ODS: indivisibilidad (un objetivo no puede lograrse a expensas de otros), inclusión (no dejar a nadie atrás) y aceleración (centrándose en acciones que tienen múltiples dividendos de desarrollo).

La Meta 14 de Biodiversidad de Aichi y los resultados de Río+20 (como se indicó anteriormente) contribuyeron a la incorporación de los ecosistemas en el ODS 6 a través de su Meta 6.6 (*"Para 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluyendo montañas, bosques, humedales, ríos, acuíferos y lagos"*) en reconocimiento del papel de los ecosistemas en el logro del objetivo global para el agua (ODS 6) y sus otras metas.

Esto refleja el reconocimiento por parte de los Estados miembros de los vínculos fundamentales entre los ecosistemas y el agua. Además de la Meta 6.6 y los objetivos 14 ( océanos) y particularmente el 15 ( ecosistemas terrestres), los ecosistemas también se mencionan en los ODS con respecto a la seguridad alimentaria en la Meta 2.4 y también con referencia al agua. (*"Para 2030, asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, sequías, inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra"*). Incluso dentro de las Metas 14 y 15, solo la Meta 15.3 es específica acerca de por qué los ecosistemas deben salvaguardarse o restaurarse, y se refiere, nuevamente, al agua (degradación de la tierra, sequía e inundación). Las SbN pueden contribuir a lograr muchos otros ODS y sus metas, incluso si actualmente no se mencionan explícitamente. Dichos vínculos se analizan en capítulos posteriores y se resumen en el Capítulo 7.

## 1.5 Evaluación de las SbN en el contexto del presente informe

Está claro que hay un creciente reconocimiento de las SbN en la agenda hídrica. Los capítulos 2, 3 y 4 del presente informe plantean a las SbN para la gestión de la disponibilidad, calidad y riesgos del agua, respectivamente. El Capítulo 5 proporciona ejemplos de experiencias con las SbN a niveles regionales. Cada uno proporciona más detalles sobre las SbN, incluyendo ejemplos basados en sectores.

Sin embargo, a pesar de una larga historia y creciente experiencia con la aplicación de las SbN, todavía hay muchos casos en los que la política y la gestión de los recursos hídricos ignoran las opciones de SbN, incluso cuando son obvias y han demostrado su eficiencia. También hay muchos casos en los que las SbN se implementan con base en una ciencia incierta y entonces no cumplen con los impactos establecidos. El Capítulo 6, por lo tanto, analiza las limitaciones conocidas en la aplicación de las SbN con base en la experiencia de las evaluaciones en los capítulos del 2 al 5, además de otras fuentes de información, y las formas y los medios para superarlas. Todos estos se centran esencialmente en crear las condiciones propicias adecuadas para considerar a las SbN en una equidad competitiva en la agenda del agua, donde se puedan evaluar de manera justa frente a otras opciones. El Capítulo 7 extrae conclusiones y posibles respuestas, prestando especial atención a las oportunidades que brindaron las SbN para ayudar a los Estados miembros (y otros actores) a lograr su gestión de los recursos hídricos y los objetivos de desarrollo sostenible correspondientes, incluso con respecto a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Las lecciones de la historia mencionadas anteriormente nos obligan a preguntarnos: ¿se pueden evitar las mismas catástrofes que aquejaron a las civilizaciones que nos precedieron? ¿Las sociedades están mejor ubicadas en el siglo XXI que hace milenios? El estado actual de los ecosistemas ( véase el prólogo, por ejemplo) ciertamente no es un buen augurio. El conocimiento sobre cómo se puede gestionar la relación agua-alimentación-energía-ecosistema, especialmente cuando se trata de influir en los impulsores sociopolíticos del cambio, sigue estando incompleto. Mucho dependerá del equilibrio que se pueda lograr entre la degradación, conservación y restauración de los ecosistemas relacionados con el agua y de cómo se pueda mejorar la gestión de los procesos hidrológicos de los ecosistemas para ayudar a lograr múltiples objetivos de gestión del agua. Independientemente de si se avecina una catástrofe, es imprescindible intensificar los beneficios de la eficiencia social, económica e hidrológica en la gestión de los recursos hídricos, en la que las SbN sin duda jugarán un papel importante. Este informe se propone evaluar cómo puede lograrse esto.

# 2 LAS SbN PARA LA GESTIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA



**FAO** | Amani Alfarra y Antony Turton

**Con aportes de**:[6] David Coates y Richard Conor (WWAP); Marlos De Souza y Olcay Ünver (FAO); División de Eficiencia de los Recursos Industriales de la ONUDI y John Payne (John G. Payne & Associates Ltd); Matthew McCartney (IWMI); Ben Sonneveld (SOW-VU); Rebecca Welling (UICN); Tatiana Fedotova (WBCSD); y Daniel Tsegai (CNULD)

Los humedales de Pantanal (Brasil)



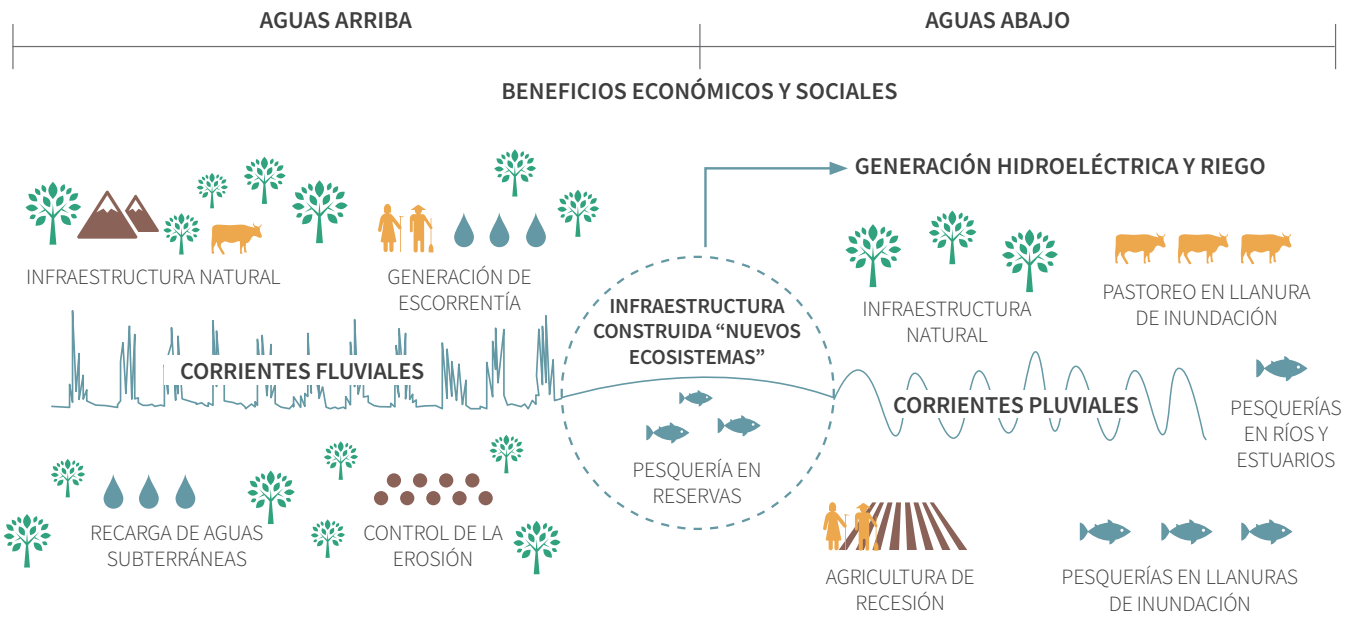
## 2.1 Introducción

La mayoría de los Estados miembros se ven enfrentados a una escasez inducida de agua, al menos a nivel local cuando no nacional, agravada por la imposibilidad de agilizar las soluciones orientadas a las políticas. La escasez de agua está influenciada tanto por la demanda como por el abastecimiento. Aunque hay ejemplos de cómo las SbN pueden influir en la demanda (por ejemplo, reducir las necesidades de agua de cultivo en el regadío – ver más abajo), principalmente abordan el suministro de agua mediante la gestión del almacenamiento de agua, la infiltración (sortividad) y la transmisión para que se realicen mejoras en el lugar, la temporización y la cantidad de agua disponible para las necesidades relacionadas con los humanos. Un enfoque SbN es un medio clave para abordar la escasez general de agua a través de la gestión del abastecimiento, sobre todo porque se reconoce que el enfoque es la principal solución para lograr agua sostenible para la agricultura (véase la Sección 2.2.1): la necesidad más apremiante para lograr la sostenibilidad general de los recursos hídricos debido a su dominio en la demanda actual de agua y para los desafíos futuros (ver prólogo).

La disponibilidad de agua (particularmente la escasez) está influenciada por la calidad del agua. Por ejemplo, la mejora de la calidad del agua permite su reutilización. Las inundaciones y sequías desastrosas representan las variaciones extremas en la disponibilidad de agua. El presente capítulo se centra en cómo pueden las SbN ayudar a los Estados miembros a lograr sus desafíos nacionales de disponibilidad de agua, además de los relacionados con la calidad del agua y los fenómenos meteorológicos extremos, que se tratan en los capítulos 3 y 4, respectivamente, aunque siguen existiendo vínculos pertinentes.

[6] Los autores desean expresar su agradecimiento a Sarah Davidson, del WWF-EE.UU., por sus útiles comentarios.

**Figura 2.1** La relación entre la infraestructura construida y los servicios ecosistémicos




*Fuente: CGIAR WLE (2017, fig. 1, pág. 5, desarrollado utilizando algunos resultados de WISE-UP para el clima).*

Los ecosistemas ejercen una considerable influencia en la cantidad de agua disponible en el tiempo y el espacio (ver Capítulo 1). En particular, la interfaz suelo/vegetación es el determinante clave del destino de la precipitación al influir en la infiltración de la superficie terrestre y, por lo tanto, en la recarga de agua subterránea, escorrentía superficial y retención de humedad en la zona de la raíz de la planta (de particular importancia en la agricultura), y finalmente reciclar el agua de regreso a la atmósfera a través de flujos evaporativos. Las SbN involucran esencialmente el manejo de estas vías, ya sea a través de la conservación o rehabilitación del ecosistema y mediante diversos enfoques de uso y manejo de la tierra, ya sea a escalas pequeñas o de paisaje o en entornos urbanos o rurales. Además, los enfoques estructurales que implican cambios físicos en el paisaje, como la creación de pequeñas depresiones para la captación de agua o el aprovechamiento del agua no explotada en paisajes (Cuadro 2.1), se han presentado como SbN, aunque algunos de ellos podrían funcionar simplemente como infraestructura gris a pequeña escala. Los enfoques estructurales se incluyen aquí, particularmente donde se implementan junto con la gestión de los componentes vivos de los paisajes. Dependiendo de las interpretaciones, pueden considerarse como SbN o o como ejemplos de enfoques híbridos (pero a pequeña escala) de infraestructura verde/gris.

El estudio del caso de Tarun Bharat Sangh, en Rajasthan, India, representa un excelente ejemplo de cómo los enfoques paisajísticos de bajo costo dirigidos por la comunidad pueden mejorar la recarga de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua superficial al combinar el manejo del suelo, la vegetación y las intervenciones (físicas) estructurales. El enfoque de las SbN ofrece beneficios socioeconómicos significativos en múltiples sectores e intereses, y también ilustra cómo la gestión del paisaje puede mejorar los climas locales, incluidos los patrones de precipitación (Cuadro 2.2).

Hay algunos ejemplos donde la infraestructura, ya sea de SbN o gris (construida), es la única opción para mejorar la disponibilidad de agua, pero por lo general ambas deben considerarse, diseñarse y operarse en armonía. Cada enfoque debe aprovechar los beneficios del otro con el fin de canalizar las sinergias para mejorar el rendimiento general del sistema (Figura 2.1).

Cuadro 2.1

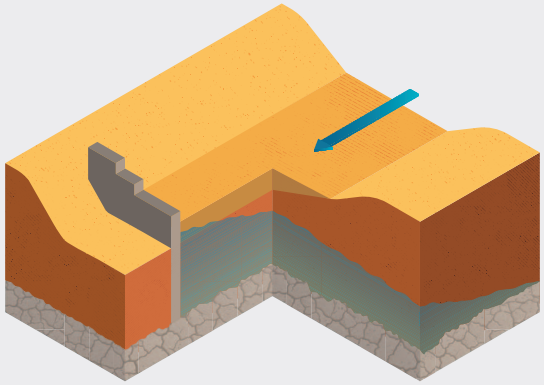
## ALMACENAMIENTO DE AGUA BASADO EN LA NATURALEZA EN RÍOS SECOS EN ÁFRICA

Los lechos de muchos ríos y corrientes estacionales (también conocidos como efímeros) que atraviesan tierras áridas y semiáridas forman depósitos de agua subterránea poco profundos, que se recargan cada vez que fluyen los ríos. Las comunidades pueden extraer agua de estos acuíferos aluviales durante la temporada seca, usando una variedad de medios sencillos. Sin embargo, a pesar de su alto potencial de almacenamiento, esta solución de almacenamiento actualmente se utiliza poco en muchas regiones de África, particularmente con fines productivos, como la agricultura (Lasage et al., 2008; Love et al., 2011).

Los ríos Shashe, Tuli y Sashane, en el árido sur de Zimbabwe, ilustran el gran potencial de este tipo de almacenamiento de agua. Incluso después de la excepcionalmente seca temporada de lluvias de 2015-16, los lechos de estos ríos estacionales contenían suficiente agua para el riego. Sin embargo, el aprovechamiento de este recurso para fines productivos sigue siendo un desafío importante (Critchley y Di Prima, 2012).

Las "presas de arena" (es decir, los diques que cruzan el río en la arena) se han utilizado en los huertos de regadío de Sashane, en el sur de Zimbabwe, conjuntamente con bombas de elevación de bajo costo de energía solar. Estas presas aumentan gradualmente el espesor de la capa de sedimentos en el río (a través de la elevación de la presa por etapas), aumentando así tanto el volumen de agua almacenada como su accesibilidad. La tecnología permite a los agricultores acceder al agua para riego complementario y mitigar los riesgos relacionados con la disponibilidad de agua. También puede permitir a los agricultores extender la temporada de cultivo en el período seco y cosechar un segundo cultivo (comercial o básico), brindando oportunidades para mejorar los ingresos y los medios de subsistencia.

**Figura | A Esquema de una presa de arena**



*Fuente: En base a: www.metameat.nl*

El uso sustentable de este almacenamiento basado en la naturaleza puede ser respaldado mediante la creación de un dispositivo de monitoreo comunitario que garantice que todos los usuarios tengan información correcta y simétrica sobre los niveles reales de agua subterránea, un elemento fundamental para manejar de manera sostenible un fondo común de recursos de ese tipo (Ostrom, 2008).

Teniendo en cuenta que una quinta parte de África consiste en tierras áridas y semiáridas, y asumiendo que el 1% de estas tierras son aptas para la agricultura y están ubicadas adecuadamente cerca de un río de arena, los ríos de arena podrían potencialmente almacenar agua para hasta 60,000 $Km^2$ de tierras de regadío en África. Esto es significativo cuando se compara con los 130,000 $Km^2$ de tierras de regadío que existían en 2010 (You et al., 2010), y más aún porque están ubicadas en áreas donde los déficits de humedad son un gran desafío recurrente.

*Contribución de: Annelieke Duker (IHE Delft), Eyasu Yazew Hago (Universidad Mekelle), Stephen Hussey (Talleres de Agua de Dabane), Mieke Hulshof (Acacia Water), Ralph Lasage (Instituto de Estudios Ambientales (IVM) de la Vrije Universiteit Amsterdam), Moses Mwangi (Universidad del Sudeste de Kenia) y Pieter van der Zaag (IHE Delft).*

## 2.2 Estudios de caso basados en el sector y cuestiones específicas

### 2.2.1 Agricultura

Dada la importancia del agua para la seguridad alimentaria, la agricultura y la nutrición sostenibles (HLPE, 2015), el desafío de alimentar a las poblaciones en crecimiento se convertirá cada vez más en un tema central en la mayoría de las políticas nacionales de desarrollo. Si bien casi 800 millones de personas padecen hambre en la actualidad, en el 2050 la producción mundial de alimentos deberá aumentar en un 50% para alimentar a los más de nueve mil millones de personas que se prevé vivirán en nuestro planeta (FAO/FIDA/UNICEF/PMA/OMS, 2017). Ahora se reconoce que este aumento no se puede lograr a través de un escenario *business-as-usual* y que se requiere un cambio transformador en la forma en que producimos los alimentos (FAO, 2011b; 2014a). La agricultura deberá cumplir con los aumentos proyectados en la producción a través de una mejor eficiencia en el uso de los recursos, al mismo tiempo que reducirá su huella externa, y el agua es fundamental en este proceso. Este tema ha sido analizado bastante en profundidad . Un pilar de las soluciones es la "intensificación ecológica sostenible" de la producción de alimentos, que fortalece los servicios ecosistémicos en los paisajes agrícolas a través, por ejemplo, de una mejor gestión del suelo y la vegetación (FAO, 2014a).

El enfoque ahora está incorporado, como se refleja, por ejemplo, en el Marco Estratégico Revisado 2010-2019 de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2013b)[7]. Su Objetivo Estratégico 2 destaca el papel fundamental de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la consecución de los objetivos de este marco, que incluye *"aprovechar el potencial de la bioeconomía para incrementar la contribución de la agricultura, la silvicultura y la pesca al desarrollo económico, al tiempo que se generan ingresos y empleo y se brindan oportunidades de subsistencia a la agricultura familiar y, en términos más generales, a la población de las áreas rurales. Los sistemas de producción deben hacer frente a este desafío mediante innovaciones que aumenten la productividad y la eficiencia agrícolas en un contexto de uso sostenible de los recursos naturales, la reducción de la contaminación, el uso de una energía más limpia y el incremento de la mitigación y adaptación al cambio climático, así como la prestación de servicios ambientales."* (FAO, 2013b, tema 53).

El tema del agua no se considera de manera independiente en este enfoque, el cual busca mejorar el rendimiento general del ecosistema como, por ejemplo, los ciclos de nutrientes (y por consiguiente, la eficiencia del uso de

[7] Aprobada en la 38.ª reunión de la Conferencia de la FAO en junio de 2013 en su decisión C 2013/7.

Cuadro 2.2

### BENEFICIOS DE LAS SBN A ESCALA - RESTAURACIÓN DEL PAISAJE PARA MEJORAR LA SEGURIDAD HÍDRICA EN RAJASTHAN, INDIA

Las precipitaciones inusualmente bajas que ocurrieron en el período de 1985 a 1986, combinadas con una tala excesiva, condujeron a las peores sequías en la historia de Rajasthan. El distrito de Alwar, uno de los más pobres del estado, se vio gravemente afectado. El nivel freático había retrocedido por debajo de los niveles críticos y el Estado declaró partes del área como "zonas oscuras", lo que significaba que la gravedad de la situación justificaba restricciones sobre cualquier extracción adicional de agua subterránea. Tarun Bharat Sangh, una organización no gubernamental (ONG), apoyó a las comunidades locales para llevar a cabo la restauración a escala de paisaje de los ciclos de agua locales y los recursos hídricos. Con el liderazgo proporcionado por las mujeres, que tradicionalmente asumen la responsabilidad de proporcionar a sus familias agua dulce segura, las iniciativas locales tradicionales para el agua se revivieron al reunir a las personas alrededor de los problemas de la gestión de los bosques y los recursos hídricos. Las actividades se centraron en la construcción de estructuras de recolección de agua a pequeña escala, combinadas con la regeneración de bosques y suelos, particularmente en cuencas receptoras superiores, para ayudar a mejorar la recarga de los recursos de aguas subterráneas.

El impacto fue significativo. Por ejemplo, el agua se trajo de vuelta a 1.000 pueblos en todo el estado; cinco ríos que solían secarse después de la temporada anual monzónica volvieron a fluir y la pesca se restableció; se calcula que el nivel freático creció unos seis metros; las tierras agrícolas productivas aumentaron del 20% al 80% de la captación; la cubierta forestal fundamental, incluso en las tierras de cultivo, que ayuda a mantener la integridad y la capacidad de retención de agua del suelo, ha aumentado en un 33% y se ha observado el regreso de la vida silvestre, como el antílope y el leopardo. Everard (2015) realizó una evaluación científica del programa que confirma sus beneficios socioeconómicos.

Estas innovadoras soluciones en materia de agua mejoraron la seguridad hídrica en la India rural (SIWI, 2015)

*Fuente: Singh (2016).*

fertilizantes y la calidad del agua), la regulación de plagas y enfermedades, la polinización y prevención de la erosión del suelo, pero las mejoras en el ciclo del agua (regulación del agua) es un requisito y resultado central y transversal.

La atención al uso del agua en la agricultura antes tendía a centrarse en el riego debido a sus altos niveles de extracción de agua. Sin embargo, la Evaluación Exhaustiva de la Gestión del Agua en la Agricultura (2007) señaló que las principales oportunidades para incrementar la productividad son los sistemas de secano, que representan la mayor parte de la producción actual, y la agricultura familiar ( por lo tanto los beneficios de subsistencia y la reducción de la pobreza).

Los beneficios de las SbN se pueden aplicar a la agricultura a todas las escalas, desde la agricultura familiar a pequeña escala (FAO, 2011b), hasta la "industrial" a gran escala. La viabilidad económica y la sostenibilidad del ecosistema son dos caras de la misma moneda (Scholes y Biggs, 2004). Por ejemplo, un estudio reciente de sistemas de monocultivos altamente simplificados e intensivos demostró que la diversificación del paisaje no solo proporciona agua, nutrientes, biodiversidad y manejo del suelo mejorados, sino que simultáneamente aumenta la producción de cultivos (Liebman y Schulte, 2015). Los sistemas agrícolas que conservan los servicios ecosistémicos mediante el uso de prácticas como la labranza de conservación, la diversificación de cultivos, la intensificación de leguminosas y el control biológico de plagas presentan un rendimiento tan bueno como los sistemas intensivos con alta concentración de insumos (Badgley et al., 2007; Power, 2010). La capacidad de resistir y recuperarse de diversas formas de estrés, incluidas las sequías e inundaciones, así como plagas y enfermedades, se encuentran entre los efectos del aumento de la diversidad biológica en los sistemas agrícolas señalados en un estudio reciente (Cardinale et al., 2012). Estos enfoques también son una estrategia fundamental para mejorar la resiliencia de la agricultura frente al cambio climático (FAO, 2014a).

El Panorama Mundial de Enfoques y Tecnologías de la Conservación (WOCAT, 2007) llevó a cabo un análisis detallado de 42 estudios de casos pormenorizados de iniciativas de conservación de suelo y agua en todo el mundo, relacionadas principalmente, pero no exclusivamente, con la agricultura. Las medidas de conservación del suelo y el agua se pueden agrupar en:

- **Agricultura de conservación** – caracterizada por sistemas que incorporan tres principios básicos: perturbación mínima del suelo, un grado de cobertura permanente del suelo y rotación de cultivos.
- **Abono/compostaje** – donde los abonos orgánicos y compost están destinados a mejorar la fertilidad del suelo y al mismo tiempo mejorar la estructura del suelo (contra la compactación y el encostramiento) y potenciar la infiltración de agua y percolación.
- **Franjas/cubierta vegetal** – fpor ejemplo, usando pastos o árboles de varias maneras. En el caso de las franjas, estas a menudo conducen a la formación de ribazos y terrazas debido a la "erosión de la labranza" – el movimiento de la ladera hacia abajo durante el cultivo. En los otros casos, los efectos de la cobertura vegetal dispersa son múltiples, incluyendo una mayor cobertura del suelo, mejor estructura e infiltración del suelo, así como una menor erosión causada por el agua y el viento.
- **Agrosilvicultura** – describe los sistemas de uso de la tierra donde se cultivan árboles en asociación con cultivos agrícolas, pastos o ganado. Por lo general, existen interacciones ecológicas y económicas entre los componentes del sistema. Existe una amplia gama de aplicaciones potenciales, desde cinturones protectores, cafetos hasta cultivos de varios pisos.
- Tres **enfoques estructurales** que a menudo son compatibles con los componentes del paisaje vivo son:
    - Captación de agua – que consiste en la recolección y concentración de la escorrentía pluvial para la producción de cultivos, o para intensificar el rendimiento del pasto y los árboles, en áreas secas donde el déficit de humedad es el principal factor limitante.
    - Control de cárcavas – abarca un conjunto de medidas que abordan este tipo específico y severo de erosión, donde se requiere la rehabilitación de la tierra. Existe toda una gama de medidas diferentes y complementarias, pero dominan las barreras estructurales, a menudo estabilizadas con vegetación permanente. Comúnmente, tales tecnologías se aplican a toda una subcuenca.
    - Terrazas – con una amplia variedad de diferentes tipos de terrazas, desde terrazas inclinadas hacia adelante hasta terrazas de banco inclinadas o con pendiente hacia atrás, con o sin sistemas de drenaje.

De estas tecnologías, la agricultura de conservación (Cuadro 2.3) se ha convertido en el emblema de un paradigma agrícola alternativo para intensificar la producción de cultivos, que no solo mejora y sostiene la productividad, sino que también brinda servicios ambientales importantes (Kassam et al. 2009; 2011a; FAO, 2011c).

Las oportunidades para mejorar las prácticas de la administración rural que apuntan a las aguas verdes[8] (cultivos de secano) pueden mejorar significativamente la disponibilidad de agua para la producción de cultivos.

[8] El agua verde es el agua de la precipitación que se almacena en la zona raíz del suelo y es evaporada, transpirada o incorporada por las plantas. Es particularmente relevante para productos agrícolas, hortícolas y forestales. Para más detalles, consulte: waterfootprint.org/en/water-footprint/what-is-water-footprint/.

Cuadro 2.3

## AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN – UN ENFOQUE PARA LA INTENSIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE

La agricultura de conservación consiste en la aplicación simultánea de tres principios prácticos basados en prácticas formuladas localmente (Friedrich et al., 2008; Kassam et al., 2011a): minimizar la alteración del suelo (labranza cero/siembra directa); mantener una cubierta continua del suelo de mantillo orgánico y/o plantas (cultivos principales y cultivos de cobertura, incluidas las legumbres); y cultivo de diversas especies de plantas, las cuales en diferentes sistemas de cultivo pueden incluir cultivos anuales o perennes, árboles, arbustos y pasturas en asociaciones, secuencias o rotaciones, todo lo cual contribuye a una mayor resiliencia del sistema. La eliminación o minimización de las perturbaciones mecánicas del suelo evita o reduce el rompimiento de la estructura y los poros de la capa superficial del suelo, así como la pérdida de materia orgánica del suelo y su compactación derivada de la labranza. Stagnari et al. (2009) concluye que, cuando se compara con la agricultura de labranza convencional, la agricultura de conservación da como resultado *"una mejor estructura y estabilidad del suelo; mayor capacidad de drenaje y retención de agua; menor riesgo de escorrentía pluvial (ver la figura a continuación) y reducción de la contaminación de las aguas superficiales con pesticidas de hasta el 100% y fertilizantes hasta en un 70%; y alrededor de un cuarto a la mitad de menor consumo de energía y menores emisiones de $CO^2$ "*.

**Figura | El mismo campo con secciones bajo labranza (derecha) y bajo agricultura de conservación/ labranza cero (izquierda) inmediatamente después de una fuerte tormenta**




Nota: La compactación del suelo y la pérdida de la capacidad de infiltración del agua causada por la labranza regular del suelo conducen a un drenaje e inundación impedidos en el campo arado (derecha) y sin inundaciones en el campo con labranza cero (izquierda). Fotografía tomada en junio de 2004 en una trama de una prueba de campo de larga duración 'Oberacker' en Zollikofen cerca de Berna, Suiza, iniciada en 1994 por SWISS NO-TILL.

*Fotos: Wolfgang Sturny.*

Los beneficios económicos de la agricultura de conservación se han establecido en varios sistemas en todo el mundo, desde pequeños sistemas agrícolas en Latinoamérica y África Subsahariana hasta sistemas de producción comercial a gran escala en Brasil y Canadá (revisado en Govaerts et al., 2009).

En la actualidad, alrededor de 1,8 millones de $Km^2$ de tierras de cultivo están bajo agricultura de conservación, lo que representa aproximadamente el 12,5% de la extensión mundial de tierras de cultivo, un aumento del 69,2% desde el período 2008-2009 (Kassam et al., 2017). Sin embargo, la aceptación es muy variable entre regiones. Por ejemplo, en algunos países de Sudamérica, el 70% de las tierras de cultivo están bajo agricultura de conservación, en otros el área es insignificante. Las diferencias parecen tener más que ver con las percepciones, las políticas agrícolas, el apoyo de prácticas agrícolas e incentivos, en lugar de los factores biogeológicos y climáticos, lo que sugiere que el entorno normativo propicio es un factor clave que restringe la aceptación (Derpsch y Friedrich, 2009).

Utilizando estimaciones moderadas (25%) para las reducciones en la evaporación del suelo y la mejora de la recolección de agua a través de la modificación de los regímenes de labranza o cubierta con mantillo, en un modelo dinámico de balance hídrico y de vegetación global, Rost et al. (2009) estiman que la producción mundial de cultivos podría incrementarse en casi un 20% únicamente con las prácticas de gestión de agua verde en la administración rural. Esto se traduce en un beneficio de uso del agua de aproximadamente 1.650 $Km^3$ al año (en base a los aumentos en la productividad primaria neta). Falkenmark y Rockström (2004) sugieren una mejoría de la productividad del agua verde de 1.530 $Km^3$ por año, mediante una combinación de técnicas similares. Aunque estos autores consideran que sus estimaciones son conservadoras, estas predicciones siguen siendo inciertas. Sin embargo, son una indicación útil de la escala de beneficios potenciales que se ofrecen. Por ejemplo, las últimas cifras sugieren que las ganancias potenciales son aproximadamente equivalentes a la producción de cultivos del 50% de las extracciones de agua de regadío actuales, o el 35% del total de extracciones de agua. Es decir, más que el aumento proyectado de la demanda mundial de agua de aquí al año 2050. Cuando se combinan con otras medidas para mejorar la sostenibilidad, estos beneficios son aún más impresionantes. Por ejemplo, en una revisión de proyectos de desarrollo agrícola en 57 países de bajos ingresos se descubrió que el uso más eficiente del agua, un menor uso de pesticidas y las mejoras en la salud del suelo dieron como resultado un incremento medio del rendimiento del cultivo del 79% (Pretty et al., 2006).

También existen importantes oportunidades para que las SbN mejoren la eficiencia del uso del agua en el riego, y esto puede tener un gran impacto debido a que el riego representa el 70% de las extracciones de agua actuales (HLPE, 2015). Para aumentar la eficiencia del uso del agua en el riego, las SbN se basan en la mejora de la captación para estimular la retención del agua subterránea y la recarga de los embalses (Cuadro 2.1), incluyendo la reducción de la sedimentación , que aumenta la capacidad de almacenamiento de los embalses y la mejora de la salud del suelo (como en los sistemas de secano) a través del aumento de la retención de humedad del suelo, por ejemplo. Una mejor gestión del ecosistema del suelo en los campos de regadío también puede generar ahorros significativos de agua (Cuadro 2.4).

Los beneficios ambientales colaterales de estos y otros enfoques de las SbN para aumentar la producción agrícola sostenible son sustanciales, mediados en gran parte por la disminución de las presiones sobre la conversión de la tierra y la reducción de la contaminación, la erosión y las necesidades de agua. Por ejemplo, los sistemas alimentarios (es decir, los patrones de consumo de alimentos y los métodos de producción de los mismos) representan el 70% de la pérdida proyectada de biodiversidad para el año 2050 en condiciones normales (Leadley et al., 2014).

Cuadro 2.4

## EL SISTEMA DE INTENSIFICACIÓN DEL ARROZ (MÁS PRODUCTIVIDAD CON MENOS AGUA)

El arroz es un alimento básico para casi la mitad de la población mundial. El cultivo del arroz de regadío en tierras bajas, que abarca aproximadamente el 56% del área total cultivada con arroz, produce aproximadamente el 76% de la cosecha total de arroz del mundo (Uphoff y Dazzo, 2016). El Sistema de Intensificación del del Arroz SIA (SRI, por sus siglas en inglés) es un enfoque que incluye el restablecimiento del funcionamiento ecológico e hidrológico de los suelos basado en modificaciones en las prácticas estándar de manejo de cultivos y aguas, en lugar de depender de la introducción de nuevas variedades o del uso de cada vez más insumos agroquímicos.
Se ha arraigado a escala internacional, traspasando las fronteras de sus orígenes en Madagascar (Kassam et al., 2011b). De particular interés aquí es la práctica del SIA, que mantiene el suelo húmedo pero no continuamente inundado, de modo que el estado del suelo es mayormente aeróbico en lugar de estar siempre saturado y anaeróbico. Los resultados varían considerablemente entre las regiones, pero el SIA puede ahorrar la labor con el tiempo, ahorrando agua (entre un 25-50%) y semillas ( entre un 80-90%), reduciendo los costos (entre un 10-20%) y aumentando la producción de arroz al menos entre un 25-50%, a menudo entre un 50-100% y a veces incluso más (Uphoff, 2008). Zhao et al. (2009) confirman el efecto positivo del SIA sobre el rendimiento del arroz y la eficiencia del uso de nitrógeno y agua. Gathorne-Hardy et al. (2013) mostraron que los métodos del SIA aumentaron los rendimientos de arroz en un sustancial 58%, mientras que redujeron el uso de agua. Al mismo tiempo, el SIA ofrece oportunidades para reducciones significativas en las emisiones de gases de efecto invernadero como resultado de la transición de condiciones anaeróbicas a aeróbicas en el suelo, que resulta en emisiones de metano reducidas (que no son compensadas por mayores emisiones de $N_2O$) y emisiones incorporadas reducidas en la electricidad utilizada para bombear agua para el riego (Gathorne-Hardy et al., 2013; Dill et al., 2013). Además de mejorar la eficiencia de la producción de arroz, incluyendo los requerimientos de agua para cultivos, los beneficios del SIA colectivamente hacen que la producción de arroz sea más ecológica (Uphoff y Dazzo, 2016). También aumentan la resiliencia y, por lo tanto, son un enfoque clave para la adaptación al cambio climático (Thakur et al., 2016). La percepción del cambio climático y la necesidad de tecnología de conservación de la humedad es un factor clave para la adopción del SIA , particularmente en las tierras áridas (Bezabih et al., 2016).

> Hay algunos ejemplos donde la infraestructura, ya sea de SbN o gris (construida), es la única opción para mejorar la disponibilidad de agua, pero por lo general ambas deben considerarse, diseñarse y operarse en armonía

Las SbN también ofrecen oportunidades para reducir los conflictos entre los sectores sobre el uso del agua, mediante un mejor rendimiento del sistema. Por ejemplo, han aumentado las tensiones entre los intereses de la minería y la agricultura en la provincia de Limpopo, en Sudáfrica, donde es probable que la presa de Njelele, utilizada principalmente para la agricultura, quede completamente sedimentada en una década debido a la cercana mina de Makhado. Sin embargo, una mina planificada a cielo abierto, de 20 Kilómetros de largo y un Kilómetro de ancho, brinda la oportunidad de utilizar roca estéril para construir un acuífero diseñado para reemplazar la función de la presa Njelele como dispositivo de almacenamiento, reduciendo así posibles conflictos (Turton y Botha, 2013). El área también se ve afectada por el cambio climático con algunos modelos que muestran un aumento potencial de 5$^{0}$C en la temperatura ambiente (Scholes et al., 2015), causando pérdidas evaporativas masivas de un yacimiento y resaltando la necesidad de almacenamiento subsuperficial (Cuadro 2.1). Esto ayuda a alinear las necesidades de la sociedad, creando una nueva licencia social para explotar en un área con escasez de agua.

### 2.2.2 Asentamientos urbanos

Las SbN para abordar la disponibilidad de agua en los asentamientos urbanos son de gran importancia, ya que la mayoría de la población mundial está ahora urbanizada. La gestión de los flujos de agua a través de paisajes urbanos puede mejorar la disponibilidad de los recursos hídricos (Lundqvist y Turton, 2001). Disponemos de una amplia gama de opciones para tomar en consideración. Muchas SbN son multifuncionales, abordando la disponibilidad de agua (escasez/suministro), la calidad del agua y los riesgos. Se pueden agrupar en:

- Gestión de la captación fuera de las áreas urbanas que mejore el suministro a estas (incluyendo las fuentes de aguas superficiales y subterráneas), casi siempre conjuntamente con una mejor calidad del agua.
- Mejor reciclaje de agua dentro de los ciclos hídricos urbanos, por ejemplo, la reutilización de aguas residuales a través de las SbN para mejorar la calidad del agua residual (ver Capítulo 3 y WWAP, 2017).
- La aplicación de infraestructura verde dentro de los límites urbanos.

Las medidas de captación para mejorar el suministro de agua a las ciudades se detallan en los capítulos 3 y 5, que destacan su impacto en la mejora de la calidad del agua. Sin embargo, estas medidas también pueden mejorar de manera directa la cantidad de agua disponible para los usuarios urbanos al utilizar la capacidad de la infraestructura natural de las cuencas para almacenar y liberar agua en forma natural y, en particular, regular los flujos aguas abajo (y la recarga de aguas subterráneas). Esto es particularmente beneficioso, dado que ayuda a regular las variaciones en el suministro y reduce la escasez de agua durante los períodos secos. Estos atributos de los paisajes naturales generalmente funcionan en armonía con los enfoques de infraestructura gris para el suministro de agua urbana, además de mejorarlos (Cuadro 2.5).

La infraestructura urbana verde se está haciendo cada vez más popular, como lo demuestra el aumento de la inversión (p. ej. Bennett y Ruef, 2016). La infraestructura verde (véase el Capítulo 1, Sección 1.3.7) está adaptada para mejorar el rendimiento hidrológico de los paisajes urbanos más antiguos o incorporarse en el diseño de las nuevas áreas, debido a su rentabilidad y sus múltiples beneficios (PNUMA-DHI / UICN / TNC, 2014).

Los ejemplos de medidas para la regulación del suministro de agua en los asentamientos urbanos incluyen: la reforestación, la restauración o construcción de humedales, nuevas conexiones entre ríos y llanuras de inundación, la captación de agua, pavimentos permeables y espacios verdes (biorretención e infiltración). La infraestructura urbana verde esencialmente restablece y gestiona las rutas hidrológicas en la interfaz tierra/agua y, por lo tanto, el destino de las precipitaciones, incluida la escorrentía y la recarga de aguas subterráneas. Esta regulación de los flujos de agua urbanos aumenta particularmente el almacenamiento de agua en las ciudades y, por consiguiente, su capacidad de adaptación a las variaciones en la disponibilidad de agua, ya sea para la gestión de inundaciones, o como un amortiguador contra la escasez de agua. Los huertos urbanos también ayudan a aumentar el uso de las precipitaciones urbanas y a reducir la demanda agrícola de agua en las zonas rurales, al tiempo que acortan las cadenas de suministro de alimentos, lo que se traduce en mayores ahorros de agua a través de evitar el desperdicio de alimentos. La infraestructura verde urbana también puede mejorar de manera significativa los climas urbanos mediante el sombreado y los efectos de enfriamiento de la evaporación, mejorando así la calidad de vida de los ciudadanos como un beneficio colateral.

Cuadro 2.5

## LA RESTAURACIÓN DEL PAISAJE MEJORA LOS MÚLTIPLES RESULTADOS DEL AGUA PARA EL RÍO TANA, KENIA

El río Tana, en Kenia, proporciona el 80% del agua potable para Nairobi, genera el 70% de la energía hidroeléctrica del país e irriga unos 645 $Km^2$ de tierras de cultivo. Las laderas escarpadas y las áreas adyacentes a los ríos se han convertido para fines agrícolas, con la consiguiente erosión. La sedimentación ha reducido la capacidad de los embalses y ha incrementado los costos del tratamiento del agua para Nairobi. Se desembolsará una inversión de 10 millones de dólares en la gestión sostenible de la tierra durante 10 años, lo que generará un retorno de 21,5 millones de dólares en beneficios económicos en un plazo de 30 años. Las actuaciones incluyen: una gestión ribereña mejorada, el terraplenado de laderas, la reforestación de tierras degradadas, medidas para fomentar las franjas de pastizales en las granjas y la mitigación de la erosión de las carreteras. En términos de suministro de agua, la capacidad de almacenamiento de los embalses se mantendrá como consecuencia de la reducción de la sedimentación. Los ingresos de la compañía hidroeléctrica mejorarán como resultado directo de esta acción. La Compañía de Agua y Alcantarillado de la ciudad de Nairobi también se ha beneficiado de la filtración que se evitó, de la reducción en el consumo de energía y de los costos de eliminación de lodos. Los beneficios de la reducción de la sedimentación se mantienen en una variedad de escenarios de cambio climático.

*Fuentes: Baker et al. (2015); TNC (2015); y Simmons et al. (2017).*

Los edificios ecológicos son un fenómeno emergente que está desarrollando nuevos referentes y estándares técnicos que abarcan muchas soluciones de SbN. En este sentido, resulta crucial la alineación de los requisitos normativos para incentivar, o incluso exigir las SbN como la nueva norma (analizada más adelante en el Capítulo 6). El concepto y programa chino denominado "Ciudad esponja" representa un buen ejemplo de la mejora de los suministros de agua urbanos de las SbN a gran escala, basado en gran medida en la aplicación de enfoques de infraestructura verde en paisajes urbanos, principalmente para mejorar la disponibilidad de agua (Cuadro 2.6).

En términos de apoyar la expansión de las SbN en las ciudades, CESPAP (2017) ofrece un curso a distancia de avance individual denominado *La transición hacia una infraestructura resiliente al agua y ciudades sostenibles* (Shifting Towards Water-Resilient Infrastructure and Sustainable Cities). Las interconexiones entre los ODS 6, 8, 11 y 13 se presentan con una visión general de las mejores prácticas, resúmenes de políticas, estrategias holísticas y enfoques para una buena gobernanza urbana. Esto está diseñado para sensibilizar a los responsables políticos y fomentar la utilización de todos los beneficios de la infraestructura resiliente al agua, a fin de lograr ciudades inclusivas, seguras y sostenibles con la preparación para los ODS.

### 2.2.3 Energía e industria

Los biocombustibles y la energía hidroeléctrica son particularmente relevantes en términos de las SbN para el suministro de agua en el contexto de la producción de energía. Los cultivos de biocombustibles usan potencialmente grandes cantidades de agua y pueden incrementar la escasez de agua, entre otros impactos (Mielke et al., 2010). Sin embargo, las SbN para el cultivo de biocombustibles son esencialmente las mismas que para la agricultura, como se describió anteriormente en la Sección 2.2.1. Las aplicaciones de las SbN para mejorar el suministro de agua para energía hidroeléctrica involucran mejores enfoques de gestión de captación que regulan el suministro de agua a las instalaciones hidroeléctricas (generalmente a través de embalses) y las reducciones en las cargas de sedimentos a los embalses (y los costos de explotación de la planta de energía), para aumentar la eficiencia de almacenamiento de la presa. El cuadro 2.5 proporciona un estudio de caso de la cuenca del río Tana (Kenia) donde los beneficios de los enfoques de las SbN incluyen mayores ingresos para la compañía hidroeléctrica como resultado de un mejor suministro de agua al embalse. Los beneficios de las SbN para la mejora de la eficiencia en la explotación de la presa hidroeléctrica pueden ser sustanciales y representan buenos ejemplos de cómo la infraestructura verde y gris pueden ser complementarias (Cuadro 2.7).

La relación de los ecosistemas con el nexo agua-energía y las posibles respuestas a los desafíos mediante un enfoque GIRH/ecosistema, utilizando herramientas tales como el pago por servicios ambientales (PSA), gestión sostenible de presas e inversión estratégica en cuencas hidrográficas, se analizaron más ampliamente en el Capítulo 9 del WWAP (2014), que proporcionó detalles y referencias adicionales.

La industria está invirtiendo cada vez más en SbN para mejorar la seguridad hídrica en sus operaciones. El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) ha reunido estudios de casos de empresas que invierten en este tipo de soluciones (WBCSD, 2015a). Por ejemplo, en México el grupo Volkswagen explota una planta de producción en el Valle de Puebla y Tlaxcala donde el suministro de agua es insuficiente para la ciudad de Puebla, en pleno crecimiento. La compañía se asoció con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas para asegurar un

Cuadro 2.6

## CONCEPTO DE LAS "CIUDADES ESPONJA" DE CHINA

El gobierno central de China recientemente inició el proyecto "Ciudad esponja", destinado a mejorar la disponibilidad de agua en los asentamientos urbanos. El concepto "Ciudad esponja" utiliza una combinación de SbN e infraestructura gris para retener la escorrentía urbana para su eventual reutilización. El objetivo del proyecto es que *"el 70% del agua de lluvia sea absorbida y reutilizada mediante una mejor permeación, retención y almacenamiento de agua, purificación y drenaje, así como el ahorro y la reutilización del agua. Este objetivo deberá alcanzarse en un 20% de las áreas urbanas para el año 2020 y en un 80% de las áreas urbanas para el año 2030 "* (Embajada del Reino de los Países Bajos en China, 2016, pág.1). Se espera que a través de este proyecto se mitiguen los impactos negativos de la construcción urbana sobre los ecosistemas naturales.

*"La aplicación de soluciones basadas en la naturaleza en toda la ciudad, tales como techos verdes, pavimentos permeables y biorremediación, junto con la restauración de humedales y ríos urbanos y periurbanos, son la base de esta iniciativa nacional"* (Xu y Horn, 2017, pág.1).Para el año 2020 se construirán dieciséis " ciudades esponja" piloto en un área de más de 450 $Km^2$, con más de 3.000 proyectos de construcción planificados e inversiones totales por 8.650 millones de Renmimbi chinos (aproximadamente 1.250 millones de dólares) (Embajada del Reino de los Países Bajos en China, 2016). Los resultados iniciales incluyen el alivio del anegamiento urbano, la mejora de los ecosistemas relacionados con el agua, la promoción del desarrollo industrial y el incremento de la satisfacción pública general. La planificación central de la política, alineada activamente con la implementación a nivel local, ha incorporado el concepto de " ciudad esponja" en la planificación urbanística y y la restauración ecológica a nivel de ciudad y distrito en las provincias de Shenzhen y Guangdong.

Algunos ejemplos de medidas incluyen la instalación de techos verdes, paredes y pavimento permeable, así como la revitalización de lagos y humedales degradados, los cuales absorben el exceso de agua pluvial. Los jardines pluviales y los sistemas de biorretención se utilizan entonces para recolectar la escorrentía y eliminar ciertos contaminantes. Parte de esta agua se regresa al sistema natural y se almacena para garantizar la disponibilidad de agua para fines de riego y limpieza durante los períodos de sequía (Xu y Horn, 2017).

*Contribución de CESPAP.*



*Foto: © Syrnx/Shutterstock.com*

> Las SBN para abordar la disponibilidad de agua en los asentamientos urbanos, ya que la mayoría de la población mundial está ahora urbanizada

suministro de agua confiable. El análisis encontró que el reabastecimiento de agua subterránea en el valle dependía en gran medida de la funcionalidad de los ecosistemas y que la deforestación en las laderas volcánicas había incrementado la escorrentía, reduciendo así la recarga del acuífero. Durante seis años, la plantación de árboles, pozos y bancos de tierra han permitido más de 1,3 millones de $m^3$ por año de agua adicional para la recarga de acuíferos – más agua de la que el grupo Volkswagen en México consume anualmente (WBCSD, 2015b).

En 2013, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) encabezó la Declaración de Lima sobre el Desarrollo Industrial Sostenible e Inclusivo (ISID), cuyo punto 7 hace un llamado a la promoción del *"uso sostenible, gestión y protección de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos que proporcionan"* (ONUDI, 2013, punto 7). Esto dio un impulso al tema, conduciendo a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, y particularmente a los objetivos 6.4 y 6.6 sobre escasez de agua y ecosistemas, respectivamente (WWAP, 2015). Proporciona un ejemplo de cómo las SbN se están incorporando en el ámbito de reforma de políticas relevantes.

### 2.2.4 La lucha contra la desertificación

La desertificación es impulsada por múltiples presiones, pero el proceso es un resultado directo, si no definido, por la degradación de la capacidad de la tierra para retener agua. La desertificación, la degradación y la sequía asociadas a la tierra, como desastres naturales, se tratan en el Capítulo 4, pero los ejemplos brindados aquí de las SbN que restauran el agua en paisajes, incluyendo las aguas subterráneas y los suelos agrícolas, son enfoques reconocidos para combatir la desertificación (y la degradación de la tierra y la sequía) cuando se aplican en áreas vulnerables relevantes. Dado que la degradación del ecosistema es la causa subyacente de la desertificación, las SbN son el único medio factible para combatirla a gran escala.

Es por ello que las SbN están a la vanguardia de los esfuerzos para restaurar la productividad de la tierra en las áreas afectadas. Por ejemplo, el CNULD promueve las SbN como un medio central para combatir la degradación de la tierra (CNULD Interfaz Ciencia-Política, 2016). Para estos enfoques, son fundamentales el reciclaje de humedad, la retención de agua del suelo y los beneficios mejorados de infiltración de la restauración del paisaje.

### 2.2.5 Agua, Saneamiento e Higiene (WaSH)

Aunque la contribución de las SbN para mejorar los resultados de WaSH se relaciona principalmente con la calidad del agua (ver Capítulo 3), los objetivos de WaSH también se alcanzan mucho más fácilmente cuando hay un suministro de agua adecuado para todos los

**Cuadro 2.7**

**LOS SERVICIOS DE CUENCA BRINDAN UN AUMENTO DE CINCO VECES LA ESPERANZA DE VIDA OPERATIVA DE LA REPRESA HIDROELÉCTRICA DE ITAIPÚ, EN LA CUENCA DEL RÍO PARANÁ, EN BRASIL**

La generación eficiente de energía hidroeléctrica de la presa de Itaipú, en la cuenca Paraná III, ubicada en la parte occidental del estado de Paraná, Brasil, en la frontera con Paraguay, se ve afectada por el manejo del suelo en la cuenca. Los sedimentos que ingresan al embalse reducen el almacenamiento y acortan la vida del mismo, al tiempo que aumentan los costos de mantenimiento y, por lo tanto, los costos de generación de electricidad, proporcionando un incentivo financiero para mejorar la gestión de cuenca. El programa Cultivando Água Boa (Cultivando Agua Buena) ha establecido una asociación con los agricultores para lograr objetivos mutuos de sostenibilidad (Mello y Van Raij, 2006; Itaipu Binacional, n.d.). Un referente del programa Cultivando Água Boa es la asociación desarrollada a través de la Federación Brasileña No-Till (FEBRAPDP) que consiste en medir los impactos de la administración rural a través de un sistema de puntaje que indica cuánto está contribuyendo cada granja a mejorar las condiciones del agua (Laurent et al., 2011). Esto permite que los agricultores sean considerados como "productores de agua" por la Agencia Nacional del Agua, que asigna valores a los servicios ecosistémicos generados por las granjas que participan en el programa y compensa a los agricultores por su enfoque proactivo (ANA, 2011). En general, la expectativa de vida del complejo de la presa se ha incrementado desde su cifra original de unos 60 años, cuando la presa fue construida, a unos 350 años en la actualidad. Además, se aportan otros beneficios ambientales (como la reducción de la escorrentía de nutrientes) y, lo más importante, el aumento de la productividad agrícola y la sostenibilidad, presentando un escenario de beneficio mutuo para los agricultores y la empresa hidroeléctrica.

> Aunque en teoría están incluidas en los principios de la GIRH, en la práctica las SbN no están bien integradas y a menudo están ausentes

usos (doméstico, industrial y agrícola) y el suministro, efectivamente gestionado para prevenir la contaminación. La mitigación de los impactos de la desertificación, la degradación de la tierra y la sequía es solo un ejemplo por el cual las SbN apoyan los resultados de WaSH, a través de la mejora en la disponibilidad y el acceso a los recursos hídricos. Los beneficios de las SbN a menudo favorecen a los más desprotegidos y vulnerables, como las comunidades minoritarias, las comunidades rurales y las mujeres. Un enfoque de SbN puede mejorar la salud pública, particularmente en los países en desarrollo, ayudando a garantizar agua segura y un saneamiento adecuado (Brix et al., 2011).

## 2.3 La influencia del reciclaje de la humedad en la disponibilidad de agua

El Capítulo 1 (ver Sección 1.3.3) destaca la importante influencia de los flujos de evaporación en el reciclaje de humedad regional y global, y la posterior precipitación. Esta influencia en la disponibilidad de agua puede ser sustancial: por ejemplo, el 70% de la precipitación en la cuenca del Río de la Plata, en América del Sur, se origina como evaporación de la selva amazónica (Van der Ent et al., 2010). Por lo tanto, las decisiones sobre el uso del suelo en un lugar pueden influir significativamente en la disponibilidad de agua en lugares distantes. Esto es particularmente importante teniendo en cuenta que la remoción de la vegetación probablemente tenga los impactos más severos en la precipitación en áreas más secas, contribuyendo a una mayor escasez de agua, degradación de la tierra y desertificación (Keys et al., 2016).

La influencia de LULUC en el movimiento de la humedad y la posterior precipitación presenta un desafío a la "cuenca", siendo la unidad común de gestión, indicando que las "cuencas atmosféricas" – también conocidas como "cuencas de precipitación" (Keys et al., 2016) – deberían también ser consideradas. Sin embargo, esto presenta desafíos considerables para la gobernanza de la disponibilidad de los recursos hídricos (Keys et al., 2017).

Actualmente hay pocos esfuerzos para abordar este aspecto de la gestión de la disponibilidad de los recursos hídricos, pero existen algunos ejemplos. El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) respalda un programa multifuncional a escala de paisaje que reconoce el papel fundamental que desempeña la cuenca del Amazonas en la regulación climática a nivel regional y mundial, con un costo de inversión de 683 millones de dólares, incluyendo el cofinanciamiento (FMAM, 2017). El programa está diseñado para mejorar las políticas, las inversiones en áreas protegidas y la gestión integrada del paisaje, con el fin de evitar, entre otras cosas, el alto riesgo de que el ecosistema amazónico en su totalidad alcance un punto de inflexión en la extinción del bosque natural debido a la sequía y los incendios. Tal evento sería extremadamente difícil de detener y tendría consecuencias socioeconómicas masivas por la disponibilidad reducida de agua para la agricultura dependiente (ubicada principalmente fuera de la cuenca) y la esperanza de vida de la infraestructura energética regional (es decir, de las presas), entre otras cosas.

## 2.4 Desafíos para habilitar las SbN en la disponibilidad de agua

Los principales desafíos para elevar las aplicaciones de las SbN para la mayoría de los actores, incluyendo autoridades reguladoras, gobierno local, industria, negocios, agricultura y sociedad civil son:

***Entornos de políticas propicios***. Los entornos de políticas a menudo desalientan, y en algunos casos prohíben, la adopción de las SbN. Se necesita un entorno de políticas propicio para promover la adopción de las SbN cuando proceda. Por ejemplo, en la agricultura, los subsidios e incentivos proporcionados a los agricultores a menudo necesitan realinearse para apoyar la sostenibilidad, incluyendo la adopción de las SbN. Las SbN también deberían integrarse más en una gama más amplia de mejores prácticas empresariales y aprovechar las diferentes oportunidades de marca que se ofrecen, ingresando a nuevos mercados o cambiando la percepción de la opinión pública sobre el comportamiento cívico de las empresas (WBCSD, 2015a).

***La sensibilización y las percepciones.*** Queda mucho por hacer para construir una mejor base de información y conocimiento sobre las SbN. La escasez de agua y los fenómenos extremos (inundaciones y sequías) crean momentos en los que se aumenta la sensibilización,

aumentando la oportunidad de considerar las opciones de SbN. La sociedad civil es un actor clave para influir en los entornos de políticas e inversión, y puede estar mejor informada. Las pequeñas y medianas empresas tienen un gran impacto acumulativo y necesitan estar más informadas e involucradas.

***El factor técnico***. Muchos de los actores a menudo son renuentes a asumir riesgos, por lo general prefieren las soluciones de probada eficacia, creando una barrera para la adopción de soluciones alternativas de ingeniería (no convencionales). Dado que la efectividad de las SbN varía mucho a nivel local (Burek et al., 2016), es esencial que se planeen, diseñen y creen cuidadosamente para ayudar a los planificadores e ingenieros a seleccionar la ubicación correcta y corregir la opción de las SbN, a fin de permitir alcanzar el máximo beneficio. Esto a su vez requiere de una evaluación confiable del desempeño esperado durante la fase de diseño, lo que resulta en un análisis de costo-beneficio más preciso. Se tiene que realizar un sólido argumento empresarial para la asociación con la naturaleza, pero en general debe demostrarse, ya que a menudo se le considera "alternativo" en lugar de convencional. Sin embargo, cuando las grandes corporaciones hacen evaluaciones detalladas y proceden a implementar las SbN, los resultados pueden ser significativos, como lo demuestra la iniciativa de huella hídrica iniciada en 2009 por SAB-Miller junto con el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF)[9] Ahora que las SbN son claramente más visibles en algunas agendas de política, corren el riesgo de ser degradadas a través de más aplicaciones erróneas donde el desempeño no cumple con las expectativas. Para contrarrestar esto, se requiere una base de conocimiento mucho mejor sobre las SbN, como las ampliadas e imparciales evaluaciones científicas de su desempeño. Algunas SbN pueden llevar tiempo, y muchos actores prefieren resultados más rápidos y garantizados; además, también están poco integradas en disciplinas de apoyo, como la ingeniería civil, lo que resulta en un déficit de habilidades.

***Las finanzas.*** Es posible que falten datos fiables para informar respecto a opciones de inversión, basadas en la evidencia. Las SbN tienen una variabilidad inherente, dependiendo de la ubicación y otros factores que deben ser entendidos, si la adopción tiene la suficiente reducción de riesgos. Los incentivos financieros y la mejora de los instrumentos en base al mercado para adoptar las SbN (véanse las secciones 5.2.2 y 6.2) ayudarían a fortalecer el caso comercial y facilitarían la toma de decisiones.

***Institucional.*** Las SbN a menudo requieren altos niveles de cooperación intersectorial e institucional. Esto se debe fomentar para acelerar las acciones, teniendo en cuenta la administración de los recursos como un mecanismo

> Aunque en teoría están incluidas en los principios de la GIRH, en la práctica las SbN no están bien integradas y a menudo están ausentes

para el compromiso. Un entorno normativo propicio puede ser de gran ayuda para promover la cooperación. El hacer obligatorio que las SbN se consideren en las elecciones de inversión, por ejemplo, puede estimular la cooperación entre aquellos con conocimiento de las SbN y aquellos que toman decisiones de inversión. Los estándares, regulaciones, directrices e incentivos que gobiernan las SbN no son comunes o uniformes en las economías nacionales. Esto también limita a la industria, que prefiere la certeza.

Las SbN hacen un llamado a mejorar los enfoques a escala de paisaje para la gestión de los recursos hídricos. La GIRH ha sido una aspiración durante décadas (Allan, 2003) pero a menudo ha fracasado debido a los intereses sectoriales arraigados, las barreras políticas y de gobernanza (Jønch-Clausen, 2004) y la falta de responsabilidad colectiva (Goldin et al., 2008). Además, aunque en teoría están incluidas en los principios de la GIRH, en la práctica las SbN no están bien integradas en los enfoques de la GIRH, y a menudo están ausentes. Los administradores del agua suelen trabajar de forma aislada, pero es necesario un manejo integrado de la tierra y el agua (Bossio et al., 2010). El concepto de gestión integrada de los recursos de tierras y aguas continúa ganando popularidad en todo el mundo, con un creciente énfasis en la inclusión de los servicios ecosistémicos como beneficios cuantificables. Dado que las SbN dependen de la escala e involucran servicios ecosistémicos múltiples, además de la regulación del agua, generalmente es necesario tener en cuenta la escala (Hanson et al., 2012). Esto también requiere una mayor atención a la gestión de los impactos del uso de la tierra y el agua en las zonas costeras y los recursos marinos. El modelo "de la fuente al mar" (Source to Sea -S2S) (Cuadro 2.8) es un enfoque que promueve arreglos de gobernanza integrados a escala de paisaje que pueden equilibrar los objetivos de desarrollo entre sectores, teniendo en cuenta los flujos de servicios ecosistémicos y permitiendo la coordinación e integración entre los diferentes objetivos de gestión (Granit et al., 2017). Tales enfoques también deben vincular los ciclos de agua, desechos y energía (FAO, 2014c).

[9] Para más detalles, consulte www.wwf.org.uk/updates/wwf-and-sabmiller-unveil-water-footprint-beer.

Cuadro 2.8

## EL ENFOQUE S2S

El enfoque "desde la fuente hasta el mar" (S2S) integra y respeta las interdependencias entre tierra ubicada río arriba y la gestión hídrica, y la calidad río abajo de deltas y áreas costeras, interconectadas mediante flujos superficiales, subsuperficiales, ríos, redes canalizadas y encaminamientos de infraestructura.

El enfoque S2S analiza la interfaz dinámica entre la tierra y los océanos –que captura un desafío clave de desarrollo y ambiental de nuestro tiempo– para abordar las crecientes presiones y la degradación de la base de los recursos hídricos y de las tierras, que afectan de manera particular a los pobres, que no pueden realizar una compensación mediante la adopción de medidas costosas. Los factores directos e indirectos que impulsan los recursos de tierras y aguas corriente arriba se traducen en crecientes presiones río abajo, incluso a través de los estuarios y hacia las áreas costeras y más allá, hacia los océanos. Las comunidades río abajo a menudo son incapaces de influenciar o administrar estos factores impulsores de aguas arriba. Además, los países que comparten cuencas hidrográficas requieren de una estrecha colaboración internacional para consolidar la gestión concertada de la tierra y el agua que asegure el suministro a largo plazo de flujos de agua transfronteriza contra la calidad requerida. El S2S ofrece un enfoque para la gestión de estas amenazas, ya que representa los usos de la tierra y el agua en las zonas altas y bajas, así como las necesidades de los que dependen de los recursos costeros y marinos.

**Figura | Flujos clave de agua, sedimentos, contaminación y materiales conectan segmentos geográficos de S2S**




*Fuente: Adaptación de Granit et al. (2017, fig. 1, pág. 5).*

## 2.5 Las SbN, la disponibilidad de agua y los ODS

El uso sostenible de los recursos abarca, de manera intersectorial, los ODS, al igual que la disponibilidad de agua. Sin agua suficiente, la mayoría del progreso económico y social se ve limitado. Los vínculos entre agua y saneamiento en todos los ODS y sus metas fueron explorados por ONU-Agua (2016a). Las SbN para la disponibilidad de agua contribuyen a todas las metas del ODS 6 (sobre el agua), que a su vez se traducen en los beneficios mejorados de la disponibilidad de agua en general. Sin embargo, existen muchos enfoques para administrar la disponibilidad de agua, incluso a través de la gestión del lado de la demanda, la mejora de la calidad del agua y la reutilización y mejora de la infraestructura gris, además de las SbN. Los enlaces entre las SbN y los ODS para la calidad del agua y la reducción del riesgo se tratan en los capítulos 3 y 4, respectivamente, mientras que el Capítulo 7 proporciona una evaluación general de las oportunidades generales. El hecho de que tantos ODS estén interconectados por asuntos relacionados al agua dificulta el aislamiento de las SbN para escasez hídrica de una gestión más amplia de la tierra y el agua. Esta sección, por lo tanto, resalta solo algunas de las áreas donde las SbN ofrecen oportunidades prometedoras para abordar la disponibilidad de agua en relación con otras opciones, teniendo en cuenta las complejidades de este tema.

Sin duda, el mayor potencial de las SbN para mejorar la disponibilidad de agua, en comparación con otras opciones, está en la agricultura, a través de aumentos de eficiencia en los sistemas de secano y regadío . Este es, por lo tanto, un elemento clave para alcanzar el ODS 2 (*"Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible"*) y, en particular, una necesidad fundamental de alcanzar su Meta 2.4 (*"…asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad de la tierra y el suelo"*), así como sustentar el logro de otras metas en el ODS2, que a su vez refuerzan muchas otras mejoras del bienestar humano (incluida la salud, la reducción de la pobreza y la sostenibilidad ambiental). Las SbN para abordar la disponibilidad de agua en áreas urbanas constituyen otra área prometedora, en comparación con opciones alternativas, y por lo tanto contribuyen al ODS 11 (*"Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles"*).

> Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) están inspiradas y respaldadas por la naturaleza y el uso o imitación de los procesos naturales para contribuir a la gestión mejorada del agua

Los beneficios colaterales de las SbN para la disponibilidad de agua, y más notablemente su capacidad para mejorar los impactos externos de la agricultura en los ecosistemas, brindan oportunidades significativas para realizar contribuciones importantes a los ODS 12 (*"Garantizar patrones de producción y consumo sostenibles"*) y 15 (*"Proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de manera sostenible, luchar contra la desertificación y detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad "*). Se destaca que las SbN son el medio más factible para luchar contra la desertificación y alcanzar la Meta 15.3 (*"luchar contra la desertificación y rehabilitar las tierras y el suelo degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo"*). En la medida en que las SbN mitiguen los impactos río abajo en las áreas costeras/marinas, también ofrecen un significativo potencial para alcanzar el ODS 14 (*"Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible"*). Mientras que la mayoría de las SbN conllevan la mejora de la resiliencia del sistema, y en muchos casos aumentan el almacenamiento de carbono (especialmente a través del manejo del suelo y la vegetación), también contribuyen significativamente al ODS 13 (*"Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos"*).

Se podrían señalar muchas más interrelaciones, algunas también con un alto potencial para la aplicación de las SbN para la disponibilidad de agua. Este tema se explora con más detalle en el Capítulo 7. Para los propósitos actuales, se concluye que las SbN para la disponibilidad de agua tienen un potencial muy prometedor para contribuir al logro de los ODS, ya sea en conjunto o como una alternativa a otros enfoques.

# 3 LAS SbN PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA



**ONU Medio Ambiente** | Elisabeth Mullin Bernhardt y Joakim Harlin

**UNESCO-PHI** | Sarantuyaa Zandaryaa, Giuseppe Arduino y Blanca Jiménez-Cisneros

**Con aportes de** la División de Eficiencia de los Recursos Industriales de la ONUDI y John Payne (John G. Payne & Associates Ltd); Sara Marjani Zadeh (FAO); Michael Mc Clain y Ken Irvine (IHE Delft); Mike Acreman y Christophe Cudennec (IAHS); Priyanie Amerasinghe y Chris Dickens (IWMI); Emmanuelle Cohen-Shacham (UICN); Tatiana Fedotova (WBCSD); Christopher Cox (UN Medio Ambiente GPA); Maija Bertule (PNUMA-DHI); David Coates y Richard Connor (WWAP); Emily Simmons y Jorge Gastelumendi (TNC); y Maria Teresa Gutierrez (OIT)

Humedales construidos para la planta de tratamiento de aguas residuales



## 3.1 Los desafíos de la calidad del agua, los ecosistemas y el desarrollo sostenible

Los graves desafíos de la contaminación del agua y el deterioro de su calidad en todo el mundo generan riesgos para la salud humana y los ecosistemas, al tiempo que reducen la disponibilidad de los recursos de agua dulce para las necesidades humanas y la capacidad de los ecosistemas relacionados con el agua para proporcionar bienes y servicios, incluyendo la purificación natural del agua. Impulsada por el crecimiento de la población y la urbanización, la industrialización, la expansión e intensificación de la agricultura y los impactos del cambio climático, la evidencia de la magnitud de la degradación de la calidad del agua dulce está muy generalizada (ver prólogo). Lo más preocupante es la contaminación de los ecosistemas de agua dulce y, en última instancia, los ecosistemas costeros y marinos. Los principales tipos de contaminantes incluyen productos químicos y nutrientes.

El aumento de los niveles de salinidad y el aumento de las temperaturas del agua y el aire también pueden tener impactos significativos (PNUMA, 2016a). La pérdida global de humedales de agua dulce, los cuales tienen una capacidad única para filtrar y mejorar la calidad del agua, es motivo de particular preocupación; se estima que entre el 64 y el 71% de la extensión de humedales se ha perdido desde 1900 (Davidson, 2014). La escorrentía agrícola es la principal fuente de carga de nutrientes y otros contaminantes, como los pesticidas. La gestión inadecuada de las aguas residuales municipales e industriales constituye otra fuente importante de contaminación del agua (UNESCO, 2015a), especialmente en los países de bajos ingresos, donde solo el 8% de este tipo de aguas residuales se someten a tratamiento de cualquier tipo (Sato et al., 2013).

> La disminución de la calidad del agua y el aumento de su contaminación obstaculizarán la posibilidad de lograr muchos de los ODS, así como otros acuerdos internacionales

El saneamiento gestionado de manera no segura ha originado la contaminación de las fuentes de agua potable por contaminantes patógenos, causando enfermedades (PNUMA, 2016a). La escorrentía pluvial urbana contaminada, los efluentes de la minería e industrias extractivas, incluyendo los vertidos industriales, la carga de sedimentos y el transporte de desechos sólidos en los cuerpos de agua, también tienen impactos directos en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, causando a veces una severa contaminación por sustancias químicas y metales pesados. Los contaminantes emergentes (incluidos los antibióticos, las hormonas y otros productos farmacéuticos, los productos de cuidado personal, productos químicos domésticos e industriales) plantean nuevos desafíos en cuanto a la calidad del agua. Por ejemplo, los patógenos multirresistentes transmitidos por el agua y los compuestos que alteran el sistema endocrino pueden representar riesgos importantes para la salud humana y los ecosistemas (UNESCO, 2015b). A menudo faltan datos específicos sobre el alcance de la contaminación y la degradación de la calidad del agua, lo que amplifica aún más los desafíos relacionados con la gestión de la calidad del agua (ONU-Agua, 2016b).

El cambio climático también contribuye a la degradación de la calidad del agua al afectar a la cantidad estacional de agua disponible (o la falta de ella) y su temperatura, modificando así sus parámetros físico-químicos y biológicos (Delpla et al., 2009). Las inundaciones más frecuentes e intensas pueden conducir a la dispersión de contaminantes a través de la escorrentía, y el aumento del nivel del mar puede conducir a una mayor salinidad. Los aumentos de la escasez de agua y los cambios en el ciclo hidrológico afectan a la extensión espacial, la productividad y la función de los ecosistemas de agua dulce, incluida su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos, con efectos que suelen llegar aguas abajo o hacia las zonas costeras (Parry et al., 2007). Los cambios en las precipitaciones y los caudales que disminuyen la cantidad o disponibilidad de agua también conducen directamente a la reducción de la calidad del agua (Finlayson et al., 2006). Los bajos niveles de calidad del agua resultantes, en efecto, son en sí mismos una forma de escasez cuando el agua ya no es utilizable directamente para muchos usos productivos (Aylward et al., 2005).

La degradación de la calidad del agua se traduce directamente en riesgos ambientales, sociales y económicos, que afectan a la salud humana, limitan la producción de alimentos, reducen la funcionalidad de los ecosistemas y obstaculizan el crecimiento económico (UNESCO, 2015a). Por lo tanto, la calidad del agua es fundamental para el concepto de desarrollo sostenible, que se puso a la vanguardia de la acción a través de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los ODS, y se aborda con más detalle en la Sección 3.5 a continuación. La disminución de la calidad del agua y el aumento de la contaminación de la misma obstaculizarán la posibilidad de lograr muchos de los ODS, así como otros acuerdos internacionales, como las Metas para la Diversidad Biológica de Aichi.

## 3.2 Las SbN para la sostenibilidad o la mejora de la calidad del agua

### 3.2.1 Proteger la calidad del agua de las fuentes

Las cuencas hidrológicas saludables recogen, almacenan, filtran y suministran agua a las comunidades de todos los tamaños. La protección de las fuentes de agua reduce los costos de su tratamiento para los proveedores urbanos, contribuye a mejorar el acceso al agua potable en las comunidades rurales y también puede proporcionar agua de calidad adecuada para otros usos, como el riego agrícola.

Los beneficios potenciales de la protección de cuencas para mejorar la calidad del agua disponible para los asentamientos humanos, y las ciudades en particular, son enormes. Por ejemplo, mediante un reciente ejercicio de modelado realizado por Abell et al. (2017), se estimó que las actividades de conservación y/o restauración de la tierra (como la protección forestal, la reforestación y el uso de cultivos de cobertura en la agricultura) podrían reducir en un 10% (o más) los sedimentos o nutrientes (fósforo) en las cuencas hidrográficas que actualmente cubren el 37% de la superficie terrestre libre de hielo del mundo ( 4,8 millones de $Km^2$). Más de 1.700 millones de personas (más de la mitad de la población urbana mundial) que viven en las 4.000 ciudades en el área cubierta por este estudio podrían beneficiarse de la mejora de la calidad del agua como resultado de la aplicación de las SbN a sus fuentes de agua potable (cuencas), incluyendo *"780 millones de personas que viven en cuencas hidrográficas ubicadas en países en el décimo percentil inferior del Índice de Desarrollo Humano (datos de 2014)"* (Abell et al., 2017, pág.71)

Los bosques, humedales y pastizales, así como los suelos y cultivos, cuando se gestionan adecuadamente, proporcionan una "infraestructura verde" de alto valor para mejorar la protección de la fuente de agua. Desempeñan un papel importante en la regulación de los caudales de agua y el mantenimiento de la calidad de la misma, al reducir la carga de sedimentos mediante la prevención de la erosión del suelo y la captura y retención de contaminantes (PNUMA-DHI/IUCN/TNC, 2014). Las zonas ribereñas boscosas de amortiguación sirven para prevenir la contaminación de

Cuadro 3.1

## EL PROGRAMA DE RESERVAS DE CONSERVACIÓN DE LOS ESTADOS UNIDOS PARA PROTEGER LA CALIDAD DEL AGUA

El Programa de Reservas para la Conservación (CRP, por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) tiene como objetivo eliminar las tierras privadas ambientalmente sensibles de la producción agrícola y restablecer el pasto y los árboles para proteger la calidad del agua, reducir la erosión y aumentar el hábitat de la fauna. A partir de agosto del 2016, casi 100.000 $Km^2$ se inscribieron bajo un contrato de CRP.

La participación en el programa por parte de los agricultores es voluntaria, ya que implica acciones en tierras que legalmente poseen. Los agricultores ofrecen sus tierras para inscribirse en el programa y la Agencia de Servicios Agrícolas evalúa y clasifica las ofertas utilizando un índice de beneficios ambientales. Los factores considerados en el índice incluyen beneficios de cobertura de hábitat de vida silvestre, beneficios de calidad de agua por erosión reducida, escorrentía y lixiviación, beneficios de erosión reducida en finca, beneficios perdurables, beneficios de calidad del aire, y costo.

A cambio de apartar las tierras y restablecer en ellas la vegetación, los agricultores participantes reciben pagos por concepto de alquiler y asistencia de costos compartidos en contratos que varían de 10 a 15 años. Las tarifas de arrendamiento se pagan anualmente y se basan en las tasas locales de alquiler de pago en efectivo de tierras secas para cultivo. La asistencia de costo compartido está disponible para pagar hasta el 50% de los costos, con el fin de establecer prácticas aprobadas para lograr los objetivos de conservación. Cada año, el programa paga aproximadamente 2.000 millones de dólares a los agricultores en concepto de arrendamiento y costos compartidos.

Se ha demostrado que el programa reduce la escorrentía de nitrógeno y fósforo de las granjas en más del 90% y 80%, respectivamente. Se han restaurado más de 110.000 $Km^2$ de humedales y la erosión del suelo se redujo en 180 millones de toneladas por año. Además, el secuestro de carbono se calcula en un promedio de 49 millones de toneladas equivalentes de $CO^2$ por año. El enfoque también mejora la resiliencia, sostenibilidad y productividad de la granja.

*Fuente: Agencia de Servicio Agrícola del Departamento de Agricultura de los EE.UU. (2008; 2016).*

*Contribución de Michael McClain (IHE Delft).*

los ríos, a la vez que brindan sombra que ayuda a reducir la contaminación térmica (Parkyn, 2004). Los pastizales se utilizan ampliamente para manejar la calidad del agua y, en ocasiones, pueden proporcionar agua de mejor calidad que los bosques (Capítulo 1). Los humedales aguas arriba también pueden proporcionar importantes beneficios de calidad del agua, debido a su capacidad natural para facilitar la filtración de efluentes y la absorción de contaminantes (TEEB, 2011).

La rehabilitación de paisajes, y particularmente la restauración de la funcionalidad en los sistemas agrícolas, es ahora un enfoque generalizado promovido a gran escala. No solo es eficaz para la mejora de la calidad del agua, sino que también brinda múltiples beneficios (Cuadro 3.1).

Hay varias actuaciones de gestión de la tierra para proteger o restaurar cuencas disponibles y generalmente se adoptan juntas, dependiendo de las circunstancias locales (Tabla 3.1). Suelen estar apoyadas por diversos incentivos financieros y de otra índole, como por ejemplo los pagos por servicios ecosistémicos (PSE) (véase la sección 5.2.2), que a menudo utilizan asociaciones público-privadas innovadoras, tales como los fondos para agua ( Cuadro 3.6) que operan en varios países.

> Se estima que la demanda de agua para la industria manufacturera aumentará un 400% durante el período del 2000 al 2050

Las medidas de protección del agua de las fuentes basadas en la naturaleza son a menudo menos costosas que la gestión de los impactos aguas abajo (p. ej., el tratamiento del agua en el punto de uso, ver el Capítulo 6). Una mayor calidad del agua de las fuentes se traduce en ahorros en el costo del tratamiento del agua (Gartner et al., 2013) y potencialmente se evitan los costos de capital de la expansión o construcción de nuevas instalaciones de tratamiento (TEEB, 2009).

**Tabla 3.1** **Categorías de actividades comunes de protección de fuentes de agua**

| Actividades de protección de fuentes de agua | Descripción | Actividades de protección de fuentes de agua | Descripción |
|---|---|---|---|
| Protección focalizada de la tierra | La protección focalizada de la tierra es un término que abarca todas las actividades de conservación emprendidas para proteger ecosistemas específicos, como bosques, pastizales o humedales. Los agroforestales — donde los árboles o arbustos se cultivan entre cultivos o pastizales — también pueden ser el centro de protección<br><br>La protección focalizada de la tierra generalmente se realiza como una medida preventiva que reduce el riesgo de impactos ambientales adversos en el futuro, como a través del aumento de los sedimentos o las cargas de nutrientes que pueden resultar de los cambios en los usos del suelo. En consecuencia, este tipo de actividades de conservación difieren de las que se centran en reducir la carga actual de contaminantes. | Buenas prácticas de gestión agropecuaria (BPAP) | Las buenas prácticas de gestión agropecuaria son cambios en las prácticas de gestión del suelo en las tierras destinadas a la cría de ganado que pueden canalizarse hacia el logro de múltiples resultados ambientales positivos. El silvopastoreo es la práctica que consiste en combinar árboles con pastos de forraje y ganado<br><br>Las buenas prácticas de gestión agropecuaria normalmente se implementan para mantener o mejorar la calidad del agua y los suelos mediante la mejora de las prácticas de manejo del pastoreo, estructuras de distribución (p. ej., caminos de acceso, cercas, estabilización de pendientes) o tratamientos de tierras (p. ej., manejo de maleza, siembra de pastos, tratamientos de los bordes de campos). Estos tipos de mejoras generalmente buscan reducir los sedimentos y las cargas de nutrientes (fósforo, nitrógeno), así como los patógenos potencialmente dañinos de los desechos del ganado. |
| Revegetación | La revegetación implica la restauración de los bosques, praderas u otros hábitats naturales, mediante la plantación (siembra directa) o permitiendo la regeneración natural; incluyendo la reforestación de pastizales (restauración forestal activa o pasiva en tierras de pastoreo).<br><br>La revegetación restaura la capacidad de la naturaleza para: 1) mantener el suelo en su lugar y reducir la erosión, 2) filtrar de manera natural los contaminantes del flujo superficial, y 3) ayudar a infiltrar el flujo superficial en el suelo. | Gestión del riesgo de incendios | La gestión del riesgo de incendios implica el despliegue de actividades de gestión que reducen los combustibles forestales disminuyendo así el riesgo de incendios catastróficos. La gestión del riesgo de incendios, también conocida como "reducción de combustible forestal", busca lograr objetivos de reducción de combustible a través del raleo mecánico y/o quemas controladas.<br><br>La gestión del riesgo de incendios generalmente se emplea en áreas donde los bosques son propensos a incendios forestales catastróficos. La abrupta remoción de la cubierta forestal y el daño a la cubierta del suelo y los suelos a consecuencia de los incendios catastróficos, pueden ser particularmente problemáticos cuando el fuego es seguido por una gran tormenta, ya que estos eventos pueden causar la erosión a gran escala de las laderas no seguras. Por consiguiente, del mismo modo que la protección focalizada de la tierra, la gestión del riesgo de incendios busca preservar la integridad de los bosques sanos y reducir el riesgo futuro de un mayor transporte de sedimentos y nutrientes, que difiere de otras actividades enfocadas a reducir la carga anual actual de contaminantes. |
| Restauración ribereña | La restauración ribereña consiste en restaurar el hábitat natural que se encuentra en la interfaz entre la tierra y el agua a lo largo de las orillas de un río, arroyo o lago. Estas franjas a veces se denominan zonas de amortiguación ribereñas.<br><br>Las zonas ribereñas comprenden el área donde interactúan la tierra y un río, corriente o lago. La restauración ribereña busca restablecer las funciones ribereñas y los vínculos físicos, químicos y biológicos relacionados entre los ecosistemas terrestres y acuáticos (Beschta y Kauffman, 2000). Las características clave de las áreas ribereñas sanas son árboles nativos con raíces profundas que se unen al suelo. La hierba y los arbustos también son importantes cubiertas de suelo y biofiltros. Los amortiguadores ribereños son especialmente importantes, ya que son la última defensa contra los contaminantes que fluyen hacia las corrientes de agua. Pueden proporcionar un hábitat fundamental en la orilla del agua y, mediante la sombra que ofrecen, pueden contribuir a reducir la temperatura del agua. La regulación de la temperatura tiene importantes implicaciones en la capacidad del agua de mantener los niveles adecuados de oxígeno disuelto, llega a ser primordial para la supervivencia de las especies acuáticas y está vinculada a una menor incidencia de floraciones de algas (Halliday et al., 2016). | Restauración y creación de humedales | La restauración y creación de humedales implica el restablecimiento de la hidrología, las plantas y los suelos de los humedales antiguos o degradados que han sido drenados, cultivados o modificados, o la instalación de un nuevo humedal para contrarrestar las pérdidas de humedales o imitar las funciones naturales de los humedales.<br><br>Los humedales son áreas donde el agua cubre el suelo, siempre o parte del tiempo. Protegen y mejoran la calidad del agua, proporcionan hábitats para los peces y la vida silvestre, almacenan las aguas de las inundaciones y mantienen el flujo de aguas superficiales durante los períodos secos. La naturaleza holística de la restauración de humedales, incluida la reintroducción de animales, es importante. Generalmente se crea un humedal mediante la excavación de suelos de las tierras altas a elevaciones que sustenten el crecimiento de especies de humedales a través del establecimiento de una hidrología apropiada. Los humedales pueden instalarse o restaurarse utilizando este u otros enfoques, como la eliminación de placas de drenaje subterráneos, la instalación de diques o la obstrucción de zanjas abiertas. |
| Buenas prácticas de gestión agrícola (BMPs) | Las buenas prácticas de gestión (BMP) agrícolas son cambios en el manejo de las tierras agrícolas que pueden canalizarse hacia el logro de múltiples resultados ambientales positivos.<br><br>Existe una amplia variedad de buenas prácticas de gestión agrícolas, que incluyen prácticas tales como cultivos de cobertura, labranza de conservación, aplicación precisa de fertilizantes, eficiencia de irrigación, agricultura de contorno y agrosilvicultura. En el contexto de los fondos de agua existentes, las buenas prácticas de gestión agrícolas se refieren principalmente a la modificación de las prácticas de gestión del suelo en las tierras de cultivo, específicamente aquellas centradas en la reducción de la erosión y el escurrimiento de nutrientes. Estas prácticas pueden contribuir a proteger los suministros de agua potable, así como a proteger otros usos, como la recreación, el hábitat de los animales, la pesca y los usos agrícolas, como el riego y los abrevaderos. | Gestión de las infraestructuras viarias | La gestión de las infraestructuras viarias implica el despliegue de una gama de técnicas de prevención y mitigación para reducir los impactos ambientales de las carreteras, incluyendo los impactos relacionados con los efectos negativos sobre los suelos, el agua, las especies y los hábitats.<br><br>Los efectos ambientales de las carreteras incluyen suelos desplazados y compactados; condiciones alteradas que cambian el pH del suelo, del crecimiento de plantas y de la estructura de la comunidad vegetal; zonas terrestres reconfiguradas que pueden resultar en cambios en los regímenes hidrológicos y/o mayor cantidad y extensión de deslizamientos de suelo y flujos de escombros, que pueden afectar a los sistemas terrestres y acuáticos. Las técnicas de mitigación para la gestión de las infraestructuras viarias pueden incluir acciones a nivel de sitio para reducir la erosión y mejorar los cruces de vías, o la implementación de la gestión del acceso y el cierre y desmantelamiento de caminos. |

*Fuente: Adaptación de Abell et al. (2017, tabla 2.4, pág.39).*

> En la mayoría de los casos, la infraestructura verde y gris pueden y deben funcionar juntas

### 3.2.2 La reducción de los impactos de la agricultura en la calidad del agua

Las dos vías a través de las cuales la agricultura influye en la calidad del agua son: la contaminación puntual y no puntual (difusa). La contaminación de fuentes puntuales –como los impactos de aguas residuales no tratadas (o no lo suficientemente tratadas) provenientes de instalaciones ganaderas de explotación intensiva o procesadoras de alimentos– se encuentra más en el ámbito de las explotaciones industriales y se trata en la Sección 3.2.4 a continuación.

La contaminación de fuente no puntual procedente de la agricultura sigue siendo, con mucho, el problema más grave a nivel mundial, incluso en los países desarrollados (Capítulo 1). Sin embargo, también es la que más se presta para la aplicación de las SbN. La contaminación de esta fuente surge principalmente debido a dos causas interrelacionadas (FAO, 2011b). En primer lugar, la aplicación excesiva de agroquímicos, que posteriormente se infiltran en las aguas subterráneas o escorrentías en las aguas superficiales, a menudo fomentada por subsidios nocivos. En segundo lugar, las "modernas" técnicas de cultivo mecánicas, y en particular la remoción de la vegetación y el arado intensificado, originan la degradación del ecosistema de la capa de suelo/ vegetal y reduce su capacidad de proporcionar varios servicios ecosistémicos que son importantes para mantener la calidad del agua. Por ejemplo, la reducción del ciclo de nutrientes en los suelos conduce a una mayor lixiviación y escorrentía de fertilizantes y reduce la eficiencia en el uso de estos, lo que a su vez promueve una mayor aplicación de fertilizantes para compensarlo. De manera similar, la reducción de los servicios de regulación de plagas y enfermedades en los paisajes agrícolas fomenta el aumento de la aplicación de plaguicidas, lo que a su vez erosiona el ecosistema a través de impactos en organismos no objetivo, promoviendo una mayor aplicación de plaguicidas. La exposición del suelo desnudo a los elementos en sistemas agrícolas, particularmente en pendientes, aumenta drásticamente la erosión y los impactos posteriores en la calidad del agua (Capítulo 1). Estos impactos perpetúan un ciclo perjudicial y costoso que va en contra de los intereses de los agricultores: no se benefician, y de hecho pagan, la pérdida de fertilizantes y/o pesticidas de sus campos y reconocen la importancia de mantener el suelo en sus granjas para la sostenibilidad de sus medios de vida. Ha tenido una buena aceptación el concepto de intensificación ecológica sostenible como el enfoque clave que permitirá aumentar la producción agrícola mientras se vuelve más sostenible (FAO, 2011b, 2014b). Esto implica esencialmente restablecer los servicios ecosistémicos en los paisajes para respaldar los incrementos sostenibles de la productividad, al mismo tiempo que se logran impactos externos dentro de límites aceptables. La mejora de la calidad del agua será uno de estos importantes beneficios.

Se han logrado avances significativos sobre este enfoque en los últimos años, en parte por el hecho de que los agricultores, a través de una mejor productividad y sostenibilidad agrícola, y otros grupos de actores pueden beneficiarse mutuamente. Por ejemplo, la **"agricultura de conservación"**, que incorpora prácticas destinadas a minimizar la perturbación del suelo para garantizar un grado de cobertura permanente y rotación regular de cultivos, es un enfoque emblemático de la intensificación de la producción sostenible cuya adopción se está extendiendo rápidamente (véase el Capítulo 2, Cuadro 2.3). El enfoque es multifuncional, pero uno de sus beneficios más importantes es la mejora de la calidad del agua a través del ciclo de nutrientes mejorado y, por lo tanto, la reducción del uso de fertilizantes y la erosión del suelo. Una gama de otras intervenciones de gestión basadas en la naturaleza se usa ampliamente para reducir los impactos de la agricultura en la calidad del agua, tales como:

**Zonas de pastos ribereños y árboles amortiguadores** a lo largo de los ríos y bordes de los lagos son un enfoque común yrentable para reducir la escorrentía de nutrientes y sedimentos de las tierras agrícolas a los ecosistemas acuáticos. Estas áreas con vegetación tienen sistemas de raíces bien desarrollados, capas superficiales orgánicas y vegetación del sotobosque que sirven como filtros físicos y biológicos para el agua de escorrentía y los sedimentos que pueden estar cargados de nutrientes y otros agroquímicos.

**Los bordes de los campos y las franjas amortiguadoras,** que son franjas con vegetación en los campos agrícolas, pueden ayudar a reducir la contaminación del agua de las tierras agrícolas (Cuadro 3.2) al inmovilizar el transporte de sedimentos y nutrientes en la escorrentía terrestre y aumentar la infiltración para minimizar el volumen de escorrentía eventualmente llevado a los cursos de agua.

**Los tramos fluviales de vegetación** (franjas húmedas de amortiguación y otros tipos de zonas húmedas) son canales de drenaje que permanecen bajo la cubierta vegetal donde la escorrentía transportada desde los campos se filtra de sedimentos, nutrientes y otros agroquímicos, a través del contacto físico con la vegetación, el efecto filtrante del subsuelo y el suelo subyacente en el canal.

Cuadro 3.2

### MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA UTILIZANDO FRANJAS DE AMORTIGUACIÓN EN LAS TIERRAS AGRÍCOLAS EUROPEAS

Los requisitos de condicionalidad en la Política Agrícola Común de la Unión Europea (UE) han requerido desde 2005 que todos los agricultores que reciben pagos directos cumplan las normas sobre la buena condición agrícola y ambiental de la tierra mediante el establecimiento de franjas de amortiguación a lo largo de los cursos de agua. En 2015, aproximadamente el 90% de las tierras de labranza europeas ( 1,56 millones de $Km^2$) cumplían con los estándares (CE, 2017a). Sin embargo, no ha habido un análisis sistemático de los impactos de las franjas de amortiguación en las granjas europeas en cuanto a la calidad del agua. Las cargas de nutrientes en los ríos europeos han disminuido debido a un conjunto de medidas de reducción de nutrientes requeridas por la Directiva de Nitratos de la UE y otras medidas de política, y es difícil aislar la contribución de las zonas de amortiguación ribereñas por sí solas.

*Contribución de Michael McClain (IHE Delft).*

En la mayoría de los casos, la eficiencia de estas intervenciones depende del tipo de vegetación y otros factores tales como la velocidad de escorrentía y las tasas de infiltración, así como el mantenimiento de la erosión o la obstrucción por sedimentos, en el caso de los canales de drenaje.

**Las cuencas para el control de agua y sedimentos** (generalmente en pendientes de tierra más empinadas) están diseñadas para desviar la escorrentía, para detener y liberar temporalmente el agua a través de una salida de tubería o mediante infiltración. Contribuyen a reducir los flujos erosivos que pueden arrastrar sedimentos y nutrientes, permitiendo una mayor infiltración. Un tipo comúnmente utilizado de tales cuencas son las cuencas secas de retención, que son depresiones con césped o cuencas creadas por excavación en las que se canaliza la escorrentía que facilita la lenta filtración de sedimentos y la absorción de nutrientes por la vegetación. Otro tipo son las estructuras de biorretención, que normalmente se rellenan con tierra, mantillo y vegetación, se utilizan para retener la escorrentía para infiltración a través de los componentes del lecho filtrante, dependiendo de las reacciones biológicas y bioquímicas dentro de la matriz del suelo y alrededor de las zonas de las raíces de las plantas.

Los **humedales** en paisajes agrícolas son efectivos para reducir la carga de nutrientes y sedimentos en suspensión de las áreas agrícolas a las aguas receptoras corriente abajo, proporcionando mosaicos de hábitats y ofreciendo diversos servicios ecosistémicos y beneficios para la función del paisaje. Un estudio realizado de los humedales en fincas en el Reino Unido e Irlanda (Newman et al., 2015) indica que todos los tipos de sistemas de humedales agrícolas, con la excepción del nitrato en los sistemas artificiales de humedales integrados (lagunas abiertas), ofrecen altos niveles de remoción de muchos contaminantes, incluyendo el nitrógeno total, amonio/amoníaco, nitratos y nitritos, fósforo reactivo total y soluble, demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno y sólidos en suspensión. Los humedales agrícolas, sin embargo, requieren una planificación y mantenimiento cuidadosos para poder realizar su función de diseño óptima durante un período de tiempo prolongado.

La **Ecohidrología** (ver Capítulo 1, Cuadro 1.1) es un enfoque que integra el análisis de la interacción agua-biota desde la escala molecular hasta la escala de captación, utilizando muchos de los enfoques mencionados anteriormente, entre otras cosas, para mejorar las formas en que el agua se maneja en los paisajes. Es especialmente relevante para reducir la contaminación de la agricultura (UNESCO, 2016).

Donde la tierra se retira de la producción agrícola, algunas de estas intervenciones pueden reducir el área de cultivo. Sin embargo, esto no tiene por qué reducir la producción general, ya que pueden producirse mejoras en todo el sistema. Por ejemplo, la diversificación del paisaje en sistemas simplificados de monocultivos altamente intensivos, no solo ofrece mejores resultados de calidad del agua, sino que simultáneamente aumenta la producción de cultivos en las áreas restantes para compensar el área perdida para el cultivo (Liebman y Schulte, 2015). Se ha demostrado que los sistemas agrícolas que conservan los servicios ecosistémicos mediante el uso de prácticas como la labranza de conservación, la diversificación de cultivos, la intensificación de leguminosas y el control biológico de plagas, funcionan igual que los sistemas intensivos de alto insumo (Badgley et al., 2007; Power, 2010)

### 3.2.3 La mejora de la calidad del agua en los asentamientos humanos

Existe un interés creciente por incorporar la infraestructura verde en la planificación y el diseño urbano para gestionar y reducir la contaminación derivada de la escorrentía urbana (PNUMA-DHI / IUCN / TNC, 2014). Algunos ejemplos incluyen el uso de muros verdes, jardines en azoteas, calles arboladas y cuencas de drenaje o de infiltración con vegetación, para contribuir al tratamiento de aguas residuales y reducir la escorrentía de aguas pluviales. Los humedales y otras características de drenaje sostenible también se usan ampliamente en entornos urbanos para mitigar el impacto de la escorrentía de aguas pluviales contaminadas y las aguas residuales (Scholz, 2006; Woods

Ballard et al., 2007). Sin embargo, la calidad del agua en los caudales puede no mejorar significativamente si los elementos no se unen utilizando un enfoque holístico para la gestión del agua en entornos urbanos (Lloyd et al., 2002; Gurnell et al., 2007).

Estos enfoques ofrecen beneficios adicionales que mejoran la calidad de vida de los residentes (Cohen-Shacham et al., 2016). Los enfoques basados en la ecohidrología, como la planificación y gestión integrada de áreas verdes y vías navegables en áreas urbanas, conocidas como redes "Azul-Verde" (Universidad de Łódź / Ciudad de Łódź, 2011) pueden contribuir a la mejora de la calidad del agua en áreas urbanas. Por ejemplo, el desarrollo de un sistema secuencial de sedimentación/biofiltración para la purificación de aguas pluviales urbanas se usa para mejorar la retención de agua en las áreas urbanas para adaptarse al cambio climático y mejorar la salud y calidad de vida de los habitantes urbanos (Zalewski, 2014).

Los humedales construidos que imitan la funcionalidad de los humedales naturales se encuentran entre las SbN más utilizadas para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Utilizan la vegetación de los humedales, los suelos y sus funciones microbianas asociadas, para eliminar el exceso de nitrógeno, fósforo, potasio y contaminantes orgánicos. Los humedales naturales y construidos también biodegradan o inmovilizan una variedad de contaminantes emergentes.

Entre los 118 productos farmacéuticos monitoreados en los afluentes y efluentes de tratamiento de aguas residuales convencionales, casi la mitad se eliminaron solo parcialmente con una eficiencia de menos del 50% (UNESCO / HELCOM, 2017). Los estudios han demostrado que los humedales construidos pueden ofrecer una solución alternativa para la remoción de los contaminantes emergentes de las aguas residuales domésticas y, por lo tanto, complementan de manera eficaz los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales. La efectividad de los humedales construidos para eliminar diversos productos farmacéuticos se ha demostrado en Ucrania (Vystavna et al., 2017; UNESCO, de próxima publicación) ( Cuadro 3.3), así como en otros estudios piloto (Matamoros et al., 2009; Zhang et al., 2011) y a gran escala (Vymazal et al., 2017; Vystavna et al., 2017). Estos resultados sugieren que, para algunos de estos contaminantes emergentes, las SbN funcionan mejor que las soluciones grises y en algunos casos pueden ser la única solución.

Las SbN también pueden aumentar la calidad del agua regenerada mediante la recarga gestionada de acuíferos (MAR) (ver Sección 4.2.3), donde la calidad del agua residual parcialmente tratada se mejora mediante procesos biofísicos, a medida que se infiltra a través de suelos y sedimentos (Cuadro 3.4).

> Existe un interés creciente por incorporar la infraestructura verde en la planificación y el diseño urbano para gestionar y reducir la contaminación derivada de la escorrentía urbana

### 3.2.4 La reducción de los impactos de la industria en la calidad del agua

Las oportunidades para las SbN en el tratamiento de aguas residuales industriales dependen del tipo de contaminante y de la carga del mismo. Para muchas fuentes de agua contaminada, las soluciones de infraestructura gris pueden seguir siendo necesarias. Sin embargo, están aumentando las aplicaciones industriales de las SbN, particularmente los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales industriales. Una revisión de 138 aplicaciones en 33 países dejó claro que los humedales construidos se han utilizado para muchos tipos de efluentes industriales (Vymazal, 2014). Durante las últimas dos décadas se han demostrado aplicaciones de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales en efluentes industriales como petroquímicos, lácteos, procesamiento de carnes, mataderos y efluentes de fábricas de pulpa y papel. Recientemente se han agregado aplicaciones en aguas residuales procedentes de la industria cervecera, curtiduría y almazaras (Vymazal, 2014; De la Varga et al., 2017).

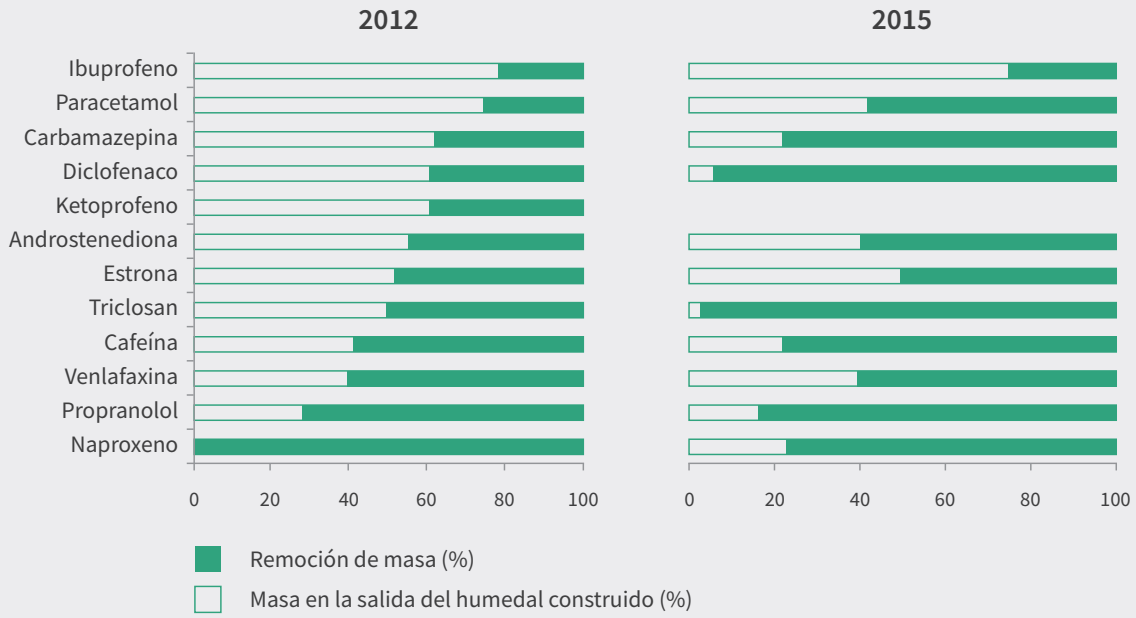
Los humedales construidos se han ganado un lugar en el tratamiento de aguas residuales de productos lácteos, como particularmente adecuados para el tratamiento de aguas residuales provenientes de instalaciones de ordeño, queserías y otras aguas residuales de la industria alimentaria, así como para el tratamiento de aguas residuales de la industria vitivinícola (De la Varga et al., 2017). Las SbN para la gestión de aguas residuales industriales a menudo ofrecen una situación en la que salen ganando tanto la industria como los actores, al crear una serie de beneficios socioeconómicos colaterales (ver Sección 3.4 ).

Cuadro 3.3

## REMOCIÓN DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL EN UCRANIA

Un estudio sobre la remoción de productos farmacéuticos en un humedal artificial a escala piloto en Ucrania, según el estudio de caso de la Iniciativa Internacional sobre la Calidad del Agua (IIWQ) de la UNESCO sobre Contaminantes emergentes en el agua y las aguas residuales en Ucrania oriental:incidencia, destino y normativa, indica el alto potencial de los humedales construidos para eliminar productos farmacéuticos de las aguas residuales, con tasas de remoción para diferentes productos farmacéuticos que van desde el 5 hasta el 90% (ver Figura ). El estudio examinba además la relación entre las tasas de remoción de contaminantes y las condiciones operativas del humedal, comparando las mediciones al comienzo de la explotación del humedal en 2012 y tres años más tarde, en 2015, después de cambiar su configuración operativa (el aumento del tiempo de residencia del agua, el crecimiento de la cubierta de macrófitos y la instalación del sistema de aireado). Después de cambiar los ajustes operativos aumentó la eficacia de eliminación de la mayoría de productos farmacéuticos ( ver Figura ).

**Figura | Tasas de eliminación para los diferentes productos farmacéuticos en un humedal artificial a escala piloto en diferentes condiciones de explotación en 2012 y 2015**




*Fuente: En base a la UNESCO (de próxima publicación).*

El humedal artificial fue aún más eficiente en la eliminación de compuestos difíciles, como la carbamazepina y el diclofenaco – productos farmacéuticos que se encuentran entre los detectados en concentraciones más altas en aguas residuales tratadas. Dado que una eficiencia de eliminación tan alta también podría ser atribuible a diferentes parámetros de gestión del humedal, se necesitan más estudios para establecer las relaciones entre la consolidación de los humedales construidos y la tasa de remoción de contaminantes.

Fuentes: Vystavna et al. (2017); UNESCO (de próxima publicación).

*Contribución de Yuliya Vystavna (Academia de Ciencias Checa), Yuriy Vergeles (Universidad Nacional de Economía Urbana, Ucrania) y Sarantuyaa Zandaryaa (UNESCO-PHI).*

## 3.3 Monitoreo de la calidad del agua basado en la naturaleza – Monitoreo biológico

Aunque no sea estrictamente una SbN tal y como se define específicamente en este informe (ver Capítulo 1), el monitoreo biológico es una herramienta importante y útil que usa organismos acuáticos (invertebrados, algas y peces) y cambios en su comportamiento, derivados de presiones externas (como un cambio en la calidad del agua), para monitorear la calidad del agua, contribuyendo así al logro de objetivos de gestión de la calidad de la misma. El monitoreo biológico proporciona soluciones de bajo costo para monitorear la calidad del agua que pueden contribuir a colmar las lagunas de datos e información sobre la calidad del agua.El monitoreo biológico, o biomonitoreo, que utiliza especies indicadoras sensibles a una amplia

Cuadro 3.4

## MEJORANDO LOS SUMINISTROS DE AGUA SUBTERRÁNEA Y LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL USO DE SUELOS PARA EL TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUA LAS AGUAS RESIDUALES EN ISRAEL

El efluente secundario tratado de la planta de tratamiento de aguas residuales de Shafdan se infiltra en la planicie costera arenosa de Israel, donde su calidad mejora aún más a medida que se infiltra en el acuífero para su posterior recuperación. Anualmente, alrededor de 110-130 millones de m3 de efluente se desvían a cinco cuencas de infiltración (cada una con aproximadamente diez subcuencas) que se inundan en ciclos de 3-5 días, con un período de secado de 1 día. El efluente se recupera de dos anillos de pozos de producción que rodean las cuencas de infiltración. Mediante el tratamiento del acuífero del suelo, la calidad del agua se mejora significativamente y se utiliza para el riego sin restricciones, aumentando así la disponibilidad de agua en las regiones áridas de Israel.

*Fuente: Goren (2009).*
*Contribución de Catalin Stefan (Universidad Técnica de Dresde, a través de GRIPP: gripp.iwmi.org/).*

gama de estresantes como los contaminantes, puede ser altamente efectivo para apoyar la gestión del agua a nivel local. Las herramientas de biomonitoreo se han incluido a lo largo de los años como parte de la práctica de gestión de los recursos hídricos, no solo para el monitoreo de la calidad del agua sino también como indicadores de la salud general del ecosistema acuático. El biomonitoreo también está integrado en las técnicas modernas de monitoreo de la calidad del agua (Cuadro 3.5).

Al ser una medida directa de la salud del ecosistema, el biomonitoreo es altamente intuitivo para el público no especializado y, por lo tanto, también puede contribuir a concienciar a las comunidades (Aceves-Bueno et al., 2015). En Sudáfrica, por ejemplo, el se utiliza el sistema de puntuación para la evaluación de miniarroyos (mini-SASS, por sus siglas en inglés)[10] para el monitoreo y administración de la calidad del agua basados en la comunidad, apoyando el manejo participativo de los recursos hídricos (Graham et al., 2004). También proporciona una herramienta para el monitoreo ciudadano que, junto con los conocimientos tradicionales, está cosechando cada vez más atención en la gestión del agua, particularmente a medida que los avances en el envío de tecnología, procesamiento de datos y visualización han ido mejorando (Lansing, 1987; Huntington, 2000; Minkman et al., 2017 ; Buytaert et al., 2014).

Sudáfrica ofrece un ejemplo donde el biomonitoreo se ha utilizado ampliamente. Basado principalmente en el monitoreo de invertebrados utilizando el índice SASS (Dickens y Graham, 2002), se han desarrollado indicadores biológicos complementarios basados en peces, vegetación ribereña y diatomeas, que se han incorporado al Programa de Monitoreo sobre el Estado Ecológico de los Ríos de Sudáfrica, en el que participan dos departamentos gubernamentales, una agencia de investigación y una serie de organizaciones de la sociedad civil, proporcionando así un ejemplo de la gestión participativa de los recursos hídricos (DWA, n.d). Los indicadores biológicos también se utilizan en Sudáfrica para monitorear la salud de los ríos, informar sobre el estado del medio ambiente, como insumo para determinar flujos ambientales o necesidades de agua, para clasificar los recursos hídricos en clases de gestióny para establecer objetivos de calidad de recursos que son legalmente vinculantes para todos los departamentos gubernamentales. Las medidas biológicas de la salud de los ecosistemas también se han incluido en la Meta 6.6 de los ODS sobre los ecosistemas relacionados con el agua.

[10] Para mayor información, consultar: www.minisass.org

Cuadro 3.5

## USO DE DAPHNIA Y ALGAS PARA EL MONITOREO DE LA TOXICIDAD DEL AGUA Y LA DETECCIÓN TEMPRANA DE DESCARGAS CONTAMINANTES - ESTACIÓN PARA LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIN EN WORMS, ALEMANIA

Los organismos acuáticos se utilizan para controlar el estado general de la salud y calidad del agua del río Rin, tanto en el agua del río (*in situ*) como en análisis de laboratorio (*ex situ*) en la Estación para la calidad del agua del Rin, Alemania. La *Daphnia*, un crustáceo de agua dulce, se utiliza en el monitoreo de la toxicidad de "alarma" del agua, por sus reacciones toxicológicas a los contaminantes del agua. Debido a que las reacciones toxicológicas de la *Daphnia* a un contaminante en particular, o a una alta carga de contaminación, son relativamente rápidas, permite una detección temprana de incidentes de contaminación inusuales.

La detección temprana de dicha contaminación del agua es importante para tomar inmediatamente las medidas necesarias para la protección de los suministros de agua potable y los ecosistemas contra las cargas tóxicas o de alta contaminación. La estación de control de calidad del agua del Rin también utiliza algas como biotest para un monitoreo en línea (intervalo de 30 minutos) de sustancias tóxicas como herbicidas.

*Contribución de Sarantuyaa Zandaryaa (UNESCO-PHI)*[1].

[1] Comunicación personal con el equipo de la estación de Calidad del Agua del Rin. Para obtener más información, consulte www.rheinguetestation.de/

> Las limitaciones técnicas son su capacidad reducida para eliminar ciertos contaminantes, especialmente en aplicaciones industriales y mineras donde los efluentes tienen altas concentraciones

## 3.4 Los beneficios colaterales y las limitaciones de las SbN en la calidad del agua

### 3.4.1 Los beneficios colaterales ambientales y socioeconómicos

La incorporación de las SbN en la gestión de la calidad del agua no solo proporciona soluciones rentables prometedoras, sino adicionales beneficios ambientales y socioeconómicos de las mismas inversiones.

Los beneficios colaterales ambientales de las SbN para la calidad del agua incluyen la protección y mejora de la biodiversidad y la reducción o inversión de la tendencia a la pérdida y degradación de los ecosistemas terrestres y acuáticos y sus servicios (mayor disponibilidad de agua y servicios ecosistémicos). La mejora de la calidad del agua ofrece beneficios ambientales que pueden extenderse a las áreas costeras aguas abajo, las cuales pueden sufrir de eutrofización relacionada con el exceso de nutrientes en las cuencas aguas arriba, y muchas veces el beneficio de contribuir a la mejora de la salud del océano. Las SbN para la calidad del agua también ofrecen funcionalidades y servicios adicionales, que incluyen la mejora del hábitat, el secuestro de carbono, la estabilización del suelo, la recarga de aguas subterráneas y la mitigación de inundaciones (Haddaway et al., 2016).

Los **beneficios socioeconómicos** derivados de la mejora de la calidad del agua están relacionados con la reducción de los riesgos para la salud pública y el desarrollo económico y/o medios de vida sostenibles –especialmente para las zonas y comunidades rurales– contribuyendo así a la reducción de las desigualdades sociales que afectan a las mujeres, los grupos desfavorecidos, los pobres y las personas que viven en barrios marginales/asentamientos informales. En general, las personas más pobres pueden ganar más de las SbN para mejorar la calidad del agua, especialmente cuando carecen del acceso a fuentes mejoradas de agua y corren el riesgo de la inseguridad alimentaria. Sin embargo, la implementación de las SbN para la gestión de la calidad del agua genera beneficios colaterales adicionales que no necesariamente serían proporcionados solamente por las soluciones grises. Un ejemplo es la creación de empleo, incluidos los trabajos directamente relacionados con la implementación de las SbN.

### 3.4.2 Las limitaciones de las SbN en la calidad del agua

Las SbN proporcionan aplicaciones prometedoras como intervenciones en gestión de la calidad del agua alternativas o complementarias. Sin embargo, aún existen desafíos y limitaciones que pueden obstaculizar su uso generalizado en algunas aplicaciones. Las limitaciones técnicas son su capacidad limitada para eliminar ciertos contaminantes, especialmente en aplicaciones industriales y mineras donde los efluentes tienen altas concentraciones. Si bien hay pruebas de que los humedales pueden eliminar un 20-60% de los metales en el agua y atrapar y retener un 80-90% del sedimento de la escorrentía, hay menos información sobre la capacidad de muchas de las plantas de humedales para eliminar algunas sustancias tóxicas asociadas con pesticidas, vertidos industriales y actividades mineras, aunque se ha descubierto que algunas plantas de los humedales acumulan metales pesados en sus tejidos a 100.000 veces la concentración que se encuentra en el agua circundante (Skov, 2015). Por lo tanto, es necesario reconocer la limitada capacidad de carga de los ecosistemas y determinar los umbrales donde la adición de contaminantes y sustancias tóxicas provocará daños irreversibles.

Otra limitación puede ser el mayor tiempo de retención requerido para eliminar algunos contaminantes. La investigación muestra que el paso relativamente lento del agua a través de los humedales puede proporcionar tiempo suficiente para que los patógenos pierdan su viabilidad o sean consumidos por otros organismos en el ecosistema. Sin embargo, también existe la posibilidad de acumulación de sustancias tóxicas en los humedales, convirtiendo a los humedales en posibles “zonas críticas” donde los altos niveles de contaminación pueden ser perjudiciales para el funcionamiento y la salud del ecosistema de los humedales (Skov, 2015).

Por consiguiente, los enfoques híbridos, donde las SbN complementan las tecnologías de tratamiento de agua convencionales, pueden proporcionar soluciones adecuadas, especialmente para reducir la carga de nutrientes pesados. Ya que las SbN pueden requerir tiempos de retención más largos, se deben equilibrar con la tasa de tratamiento convencional, quizá incluyendo áreas de ecosistemas más grandes, y requisitos corporativos y normativos (ver Capítulo 6).

Las SbN pueden respaldar la prestación de servicios de agua de manera complementaria e integrada con la infraestructura hídrica convencional (PNUMA-DHI/IUCN/TNC, 2014). Resulta entonces importante que las SbN, tanto

para la calidad del agua como para otros objetivos de gestión del agua, se consideren junto con otras opciones basadas en enfoques estandarizados de posibles costos y beneficios. Esto debe incluir la debida consideración a la amplia gama de beneficios colaterales ambientales y socioeconómicos (incluida la mayor capacidad de adaptación a un clima cambiante) que ofrecen las SbN además de los beneficios primarios de la calidad del agua. La combinación de las SbN y la infraestructura gris en los planes de gestión del agua también mejora la sostenibilidad de la infraestructura de agua gris.

La participación más amplia de los actores y de la comunidad es importante en la implementación de las SbN, especialmente la participación de aquellos cuyos medios de vida dependen de los bienes y servicios proporcionados por los paisajes. Como las SbN para la calidad del agua y sus aplicaciones específicas dependen de muchos factores, existe un desafío relacionado con la falta de evidencia histórica bien establecida de sus impactos positivos, que permita realizar comparaciones con otras soluciones. Esto puede aumentar el riesgo percibido o el nivel de incertidumbre de dichos proyectos, en comparación con el rendimiento bien establecido de las tecnologías convencionales de tratamiento de agua (PNUMA-DHI/IUCN/TNC, 2014). Llenar este vacío de información es fundamental para permitir que las SbN para la calidad del agua estén en igualdad de condiciones con las alternativas convencionales.

Estas limitaciones de las SbN en las aplicaciones de gestión de la calidad del agua se pueden reducir mediante lo siguiente:

- Mejorar la base de conocimientos y promover la investigación e innovación de las SbN para la gestión de la calidad del agua, incluyendo la realizacón de pruebas de las SbN en diferentes condiciones hidrológicas, ambientales, socioeconómicas y de gestión.
- Aumentar la capacidad compartiendo y diseminando el conocimiento y desarrollando programas educativos enfocados en las SbN como parte integral de la gestión de la calidad del agua.
- Incorporar las SbN en las políticas y marcos legales y regulatorios sobre la gestión de la calidad del agua, fomentando la inversión y la implementación de las SbN.
- Promover la inversión del sector privado en las SbN a través de ejemplos que resuelvan los argumentos empresariales sobre las SbN para la gestión de la calidad del agua (Recuadro 3.6, ver también la Sección 5.2.2).
- Colaborar con la sociedad civil para crear conciencia sobre el potencial de las SbN para la gestión de la calidad del agua, propugnando los cambios de políticas que apoyen a las SbN y promoviéndolas con los líderes políticos.

**Cuadro 3.6**

### LOS FONDOS DE AGUA COMO MEDIO PARA IMPLEMENTAR LAS SbN PARA LA PROTECCIÓN DE LAS CUENCAS

Los Fondos de Agua son plataformas institucionales desarrolladas por las ciudades y los profesionales de la conservación, que pueden abordar las cuestiones de gobernanza mediante la reducción de las brechas científicas, jurisdiccionales, financieras y de implementación. La investigación en los últimos 15 años ha demostrado su capacidad para permitir que los usuarios aguas abajo inviertan en la protección del hábitat aguas arriba y la gestión del suelo para mejorar la calidad y cantidad del agua, con casos exitosos, como en Quito, San Antonio (Texas) y recientemente en Nairobi (Abell et al., 2017). El Fondo de Agua de Nairobi tiene como objetivo demostrar cómo las inversiones en las SbN en la Cuenca del Alto Tana, con una extensión aproximada de 1,7 millones de hectáreas y que suministra el 95% del agua potable de Nairobi, pueden generar el doble rendimiento de la inversión. Un estudio de viabilidad reveló que una inversión de 10 millones de dólares en actividades de fondos de agua, como zonas ribereñas de amortiguación, reforestación e implementación de prácticas agrícolas mejoradas, podría arrojar un beneficio económico estimado de 21,5 millones de dólares en un plazo de 30 años. (TNC, 2015).

*Contribución de Elisabeth Mullin Bernhardt (UN Environment).*

## 3.5 El potencial de las SbN para contribuir a los ODS relacionados con la calidad del agua

La gama de beneficios y "beneficios colaterales" que brindan las SbN para la gestión de la calidad del agua tienen un potencial significativo para contribuir al logro de los ODS, facilitando la transición a la sostenibilidad de las sociedades. Dado que el mejoramiento de la calidad del agua también mejora su disponibilidad (para usos múltiples) y, en algunos casos, reduce los riesgos relacionados con el agua, existen muchos vínculos potenciales entre la mayoría de los ODS y sus objetivos.

La Tabla 3.2 proporciona una visión general de los vínculos más obvios y directos entre la calidad del agua mejorada y los ODS donde las SbN ofrecen una promesa particular.

**Tabla 3.2** Calidad del agua en los ODS

| Objetivo | Meta | |
|---|---|---|
| ODS 6<br>**Agua y Saneamiento** | 6.1 | Lograr **el acceso universal y equitativo al agua potable** segura y asequible para todos. |
| | 6.2 | Lograr **el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos** y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y niñas y de las personas en situaciones de vulnerabilidad. |
| | 6.3 | **Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando los vertidos y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentado considerablemente el reciclado y reutilización sin riesgos a nivel mundial.** |
| | 6.6 | **Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua,** incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos. |
| ODS 1<br>**Pobreza** | 1.4 | Garantizar que todos los hombres y mujeres, en particular los pobres y los vulnerables, tengan los mismos derechos a los recursos económicos, así como el **acceso a los servicios básicos** … |
| ODS 2<br>**… promover la agricultura sostenible** | 2.4 | … asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas … y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra. |
| ODS 3<br>**Salud** | 3.3 | Poner fin a las epidemias de SIDA, tuberculosis, malaria y enfermedades tropicales desatendidas y combatir la hepatitis, **las enfermedades transmitidas por el agua** y otras enfermedades transmisibles. |
| | 3.9 | Reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y **la contaminación** del aire, **el agua y el suelo**. |
| ODS 7<br>**Energía limpia** | 7.3 | Duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética. |
| ODS 9<br>**Construir una infraestructura resiliente …** | 9.4 | … modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y racionales desde el punto de vista ambiental … |
| ODS 11<br>**Ciudades sostenibles** | 11.3 | … aumentar la urbanización inclusiva y sostenible … |
| | 11.6 | … reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades … |
| ODS 12<br>**Consumo y producción sostenibles** | 12.4 | Lograr la gestión ecológicamente racional **de los productos químicos y de todos los desechos** a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y **reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo**, con el fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente. |
| ODS 14<br>**Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible** | 14.1 | … prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, en particular la producida por actividades realizadas en tierra, incluidos los desechos marinos y la contaminación por nutrientes. |
| ODS 15<br>**Ecosistemas** | 15.1 | Velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas continentales de agua dulce y los servicios que proporcionan, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas, en consonancia con las obligaciones contraídas en virtud de acuerdos internacionales. |

*Fuente: Adaptado y actualizado de la UNESCO (2015a, pág. 7).*

***ODS 6 "Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos"***: Las SbN para gestionar la calidad del agua contribuyen al logro de todas las metas del ODS 6. Una amplia gama de SbN, como la protección de cuencas para mejorar la calidad del agua en sus fuentes y en humedales construidos, a fin de reducir los nutrientes y otro tipo de contaminación proveniente de diferentes fuentes, son esenciales para la consecución de la Meta 6.3. Las SbN pueden contribuir a las Metas 6.1 y 6.2 al reducir los riesgos para la salud humana a causa del agua potable y el saneamiento inseguros, mediante la protección de las fuentes de agua y soluciones alternativas al saneamiento, como el saneamiento ecológico. Todas las SbN para la gestión de la calidad del agua son medios para la implementación de la Meta 6.6 en el contexto del ODS 6.

Las SbN son particularmente importantes para mejorar los impactos de los sistemas agrícolas en la calidad del agua y, por ende, un factor fundamental para la consecución del ODS 2 (entre otras cosas, promover la agricultura sostenible), ya que la reducción de los impactos sobre la calidad del agua es un determinante clave de la sostenibilidad en la agricultura, en particular con respecto a la Meta 2.4. Los beneficios para la salud (ODS 3) de las contribuciones de las SbN en la mejora de la calidad del agua son evidentes. Asimismo, este y otros enfoques de las SbN para reducir la contaminación basada en la tierra contribuyen de manera importante a la conservación y el uso sostenible de los océanos, los mares y los recursos marinos (ODS 14), sobre todo por la reducción en los aportes de nutrientes (Meta 14.1). La infraestructura verde (SbN) es una parte integral de la construcción de infraestructura resiliente (ODS 9). De manera similar, la infraestructura verde es un componente esencial para la construcción de ciudades seguras, resilientes y sostenibles (ODS 11).

Los beneficios ambientales colaterales de las SbN en la mejora de la calidad del agua son particularmente relevantes, ya que contribuyen a sustentar la biodiversidad y los ecosistemas en general (ODS 15, además del ODS 14 mencionado anteriormente). Los ecosistemas terrestres y acuáticos están intrincadamente conectados. De manera particular, las SbN que utilizan las funciones y servicios ecosistémicos protegiendo las cuencas hidrográficas, los humedales naturales o construidos, la reforestación y tierras de amortiguamiento, contribuyen directamente a las metas 15.1, 15.2 y 15.4. Las SbN para la calidad del agua, como las franjas amortiguadoras y las áreas ribereñas de vegetación, contribuyen a las metas 15.3 y 15.5 en la lucha contra la desertificación y la degradación de la tierra y para la reducción de la pérdida del hábitat y la biodiversidad. La implementación de las SbN para la calidad del agua también contribuye a la Meta 15.9: integrar los valores de los ecosistemas y la diversidad biológica en las estrategias de desarrollo.

> La agricultura deberá cumplir con los aumentos proyectados en la producción a través de una mejor eficiencia en el uso de los recursos, al mismo tiempo que reducirá su huella externa, y el agua es fundamental en este proceso

Se pueden establecer vínculos adicionales al ODS 7 (energía limpia). Debido a que la mayoría de las SbN requieren de muy poca energía externa (si la hay), pueden entonces reducir la demanda energética de las tecnologías convencionales para el tratamiento de aguas residuales. Las SbN que mejoran la eficiencia del uso de nutrientes y productos químicos en la agricultura, son particularmente relevantes para el ODS 12 ("consumo y producción sostenibles") y aquellas utilizadas en la gestión de la escorrentía urbana (metales pesados y productos químicos) contribuyen particularmente a la Meta 12.4 (reducir la liberación de productos químicos peligrosos para el agua y el suelo). Los beneficios ambientales y socioeconómicos resultantes de la SbN para la gestión de la calidad del agua también respaldan el ODS 1 (fin de la pobreza) y otros aspectos del ODS 2, por ejemplo, mediante la mejora de los medios de subsistencia, especialmente en las zonas rurales.

# 4 LAS SbN PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS RELACIONADOS CON EL AGUA, LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO



**UNU-INWEH** | Vladimir Smakhtin, Nidhi Nagabhatla, Manzoor Qadir y Lisa Guppy

**Con aportes de** :[11] Peter Burek (IIASA); Karen Villholth, Matthew McCartney y Paul Pavelic (IWMI); Daniel Tsegai (CNULD); Tatiana Fedotova (WBCSD) y Giacomo Teruggi (OMM)

Planta de tratamiento de aguas residuales inundada después del huracán Harvey (EE. UU.)



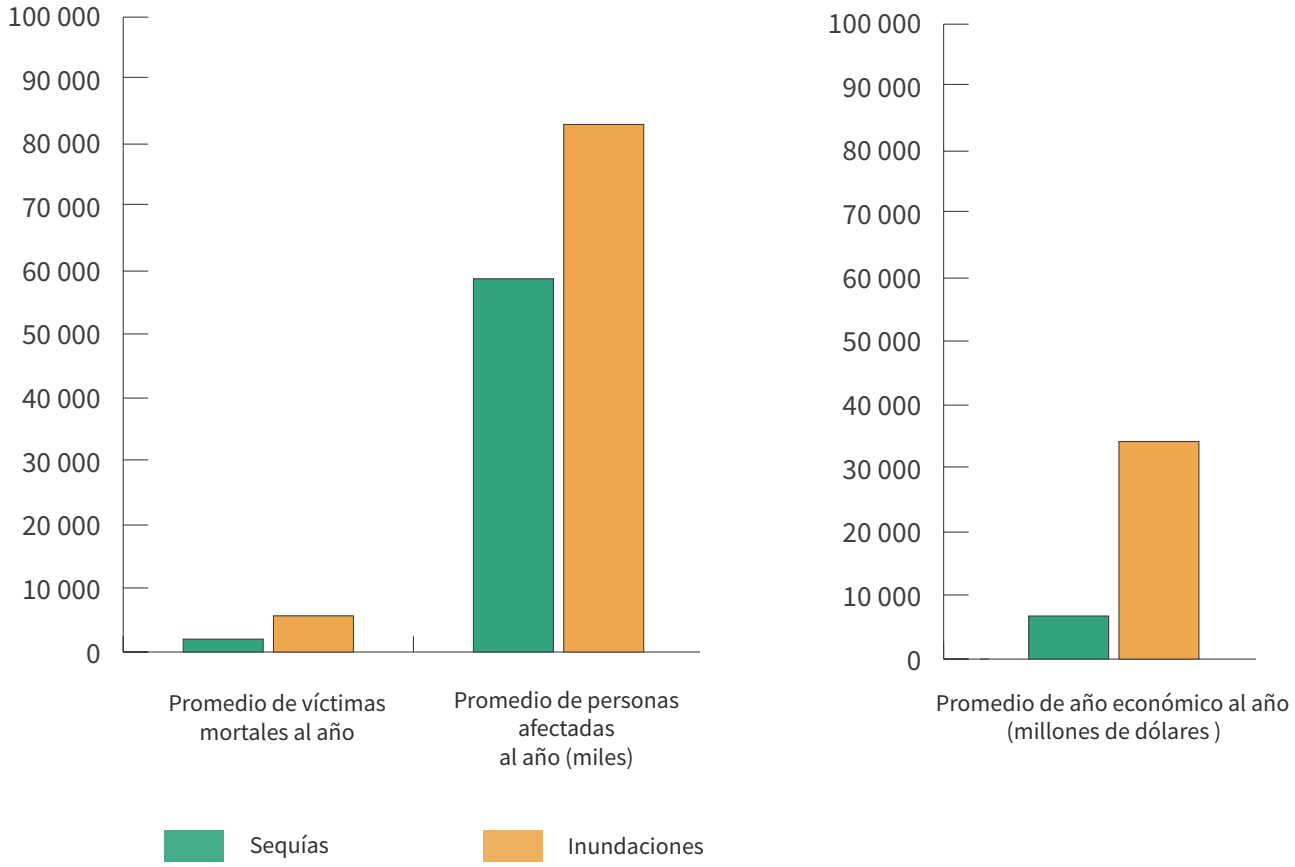
## 4.1 Las SbN en el contexto de cambio y variabilidad del agua y los acuerdos globales de desarrollo sostenible

La variabilidad de los recursos hídricos tiene un impacto significativo en el desarrollo (Hall et al., 2014). Se estima que alrededor del 30% de la población mundial reside en áreas y regiones que habitualmente sufren los efectos de inundaciones o sequías –los principales desastres relacionados con el agua a través de los cuales se manifiesta la variabilidad del agua. De acuerdo con la Base de Datos Internacional sobre Desastres del Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres (CRED, n.d.), el cual analizó los datos para un período de 10 años, del 2006 al 2015, resumidos en el Informe Mundial sobre Desastres (IFRC, 2016), los desastres relacionados con el agua afectan a alrededor de 140 millones de personas y causan la muerte de cerca de 10.000 personas en todo el mundo (Figura 4.1). Si las temperaturas extremas se combinan con las sequías, o las tormentas con inundaciones, el número de víctimas casi se triplica. Para poner esto en contexto, el número promedio anual de muertes por desastres relacionados con el agua debido a inundaciones y sequías está en el mismo rango que el número anual de muertes por terrorismo, mientras que el número de personas afectadas por inundaciones y sequías (desplazados, perdida de sus ingresos u hogar, etc.) es aproximadamente 5 veces más que la cantidad de personas que viven con VIH.

Las pérdidas económicas a nivel mundial promedio causadas por inundaciones y sequías superan los 40.000 millones de dólares anuales en todos los sectores económicos. Las tormentas agregan otros 46.000millones de dólares en pérdidas económicas por año, en promedio.

[11] Los autores desean expresar su agradecimiento a Sarah Davidson, del WWF-EEUU, por sus útiles comentarios

**Figura 4.1** **Impactos anuales promedio de las sequías e inundaciones a nivel mundial en base a los datos del período 2006-2015**




*Fuente: Basado en datos de CRED (n.d.).*

El número de muertes, personas afectadas y pérdidas económicas varía significativamente por año y de un continente a otro, siendo África y Asia los más afectados en términos de los tres indicadores. Se prevé que estas cifras aumenten entre 200 y 400.000 millones de dólares para el 2030, según diversas estimaciones. Dichas pérdidas afectan en gran medida a la seguridad del agua, los alimentos y la energía y consumen la mayor parte del flujo de ayuda al desarrollo total actual (OCDE, 2015a).

El cambio climático modifica (y ya ha modificado) el patrón de escorrentía global (Milly et al., 2005), y algunos estudios sugieren un aumento de la escorrentía global de aproximadamente un 4% por un aumento de la temperatura global de 1° C (Labat et al. 2004). Pero lo más importante es que el cambio climático aumenta la frecuencia, intensidad y gravedad de los fenómenos meteorológicos extremos (O'Gorman, 2015), lo que puede incrementar la frecuencia y magnitud de los fenómenos extremos relacionados con el agua (IPCC, 2012; Mazdiyasni y AghaKouchak, 2015). A pesar de que en muchos casos las incertidumbres asociadas con las proyecciones climáticas aún no permiten emtir enunciados cuantitativos sólidos sobre los impactos del cambio climático en el agua en general, y sobre la variabilidad del agua en particular, algunas evidencias y proyecciones históricas sugieren que los riesgos de inundación pueden intensificarse, particularmente en partes de Asia meridional, sudoriental y nororiental, así como en África tropical y América del Sur, debido a los cambios en los patrones de precipitación que afectan al ciclo hidrológico. Hirabayashi et al. (2008) ilustraron que la frecuencia de las inundaciones aumentará en la mayoría de las regiones, excepto en América del Norte y el centro y oeste de Eurasia . También se proyecta que la frecuencia de las sequías aumentará a nivel mundial, y solo las latitudes altas del norte, el este de Australia y el este de Eurasia mostrarán disminución o no tendrán cambios significativos. Se prevé que varias regiones tendrán aumentos tanto en la frecuencia de las inundaciones como de las sequías.

No toda la variabilidad de los recursos hídricos surge de la variabilidad climática natural o el cambio climático antropogénico. Como se señalaba en el prólogo, la degradación de los ecosistemas, a través del cambio en el uso de suelo, la pérdida de humedales y la degradación de la tierra, es un factor importante en el aumento de los riesgos relacionados con el agua y en muchos casos la principal causa de riesgo y desastres. Esto implica que la restauración del ecosistema debe ser una respuesta primaria para reducir dichos riesgos, mediante la aplicación de las SbN.

La agricultura es quizás el sector económico que se ve más afectado por la creciente variabilidad de los recursos hídricos a nivel mundial, y sin duda el más vulnerable en términos socioeconómicos, debido a la dependencia de las comunidades rurales en los países en desarrollo. Este sector absorbe en promedio el 84% de los impactos económicos adversos ocasionados por las sequías y el 25% de todos los daños causados por desastres relacionados con el clima (FAO, 2015). Los científicos, los agricultores e incluso la comunidad empresarial consideran que la variabilidad, catalogada como "fenómenos meteorológicos extremos", es uno de los riesgos de producción más probables para los próximos 10 años (FEM, 2015). Las ganancias de bienestar obtenidas solo de la mitigación de la variabilidad hidrológica en general, al asegurar el agua a los irrigadores existentes en todo el mundo, se evaluaron en 94.000 millones de dólares en el 2010 (Sadoff et al., 2015).

Los daños a varias industrias e infraestructura urbana, particularmente por inundaciones catastróficas, son igualmente significativos. Las pérdidas económicas por 43.000 millones de dólares y las pérdidas aseguradas en 16.000 millones de dólares, debido a las inundaciones del 2011 en Tailandia incidieron profundamente en el sector de los seguros y en la inversión extranjera directa (Munich Re, 2013). Sin embargo, las incertidumbres en las estimaciones de daños por inundación pueden ser grandes (Wagenaar et al., 2016).

Al mismo tiempo, la variabilidad del agua (es decir, el régimen de flujo estacional natural y las inundaciones asociadas a este) proporciona importantes beneficios socioecológicos, por ejemplo, para la pesca de captura y la agricultura de recesión de inundaciones. Estos beneficios en los sistemas deltaicos de grandes proporciones, como el delta del Mekong, pueden ser uno o dos órdenes de magnitud mayores que los costos anuales de daños por inundaciones extremas (MRC, 2009). De manera similar, la variabilidad estacional de las precipitaciones crea oportunidades para el almacenamiento de agua, utilizando infraestructura verde o gris, para proporcionar agua a los ecosistemas y a las personas durante los períodos más secos. Por lo tanto, administrar la variabilidad no consiste en eliminarla, sino en minimizar los daños y maximizar las oportunidades que brinda. Esta dicotomía se aborda mejor a través de las SbN. Además, el cambio climático ejerce su impacto principalmente a través de los ecosistemas y la hidrología. En consecuencia, la respuesta principal tanto al cambio progresivo como a la variabilidad de los recursos hídricos y los flujos, es la adaptación basada en los ecosistemas, un concepto que se traduce en un rango de las SbN.

Algunas tendencias recientes, como el aumento del desarrollo de almacenamiento de agua superficial y la infraestructura hídrica envejecida, señalan la necesidad de soluciones innovadoras que incorporen las perspectivas de los servicios ecosistémicos, la resiliencia y los medios de vida de forma más destacada en los

> En las últimas décadas, la frecuencia, intensidad y duración de las sequías han aumentado de manera constante, debido en parte al cambio climático

procesos de planificación y gestión que explícitamente abordan la variabilidad del agua. Estas necesidades se ven agravadas por el rápido crecimiento de la población, la urbanización y otras presiones crecientes sobre los recursos hídricos. Muchos países consideran que la gran infraestructura de agua gris es la solución para hacer frente a la variabilidad de los recursos hídricos, especialmente a medida que se prevén aumentos de la variabilidad inducidos por el cambio climático. Es por ello que se está construyendo y planificando una mayor infraestructura gris (como diques y terraplenes de protección contra inundaciones). El envejecimiento de la infraestructura gris existente agrega un desafío adicional – que podría no estar en consonancia con la visión según la cual fue diseñada, ni ser eficaz dado que los parámetros hidrológicos sobre los que fue diseñada están en un proceso de cambio. La respuesta adecuada es reconocer los importantes beneficios que trae la reducción de riesgos que ofrecen los ecosistemas y la infraestructura verde y diseñar infraestructura verde y gris conjuntamente para maximizar el rendimiento del sistema y lograr mayores beneficios para las personas, la naturaleza y la economía. Tal es la esencia de un enfoque de SbN.

Muchos objetivos de los ODS abordan diversos aspectos de la gestión y la variabilidad de desastres relacionados con el agua, explícita o implícitamente. La Meta 1.5 tiene como objetivo *"fomentar la resiliencia de los pobres y aquellos que se encuentran en situaciones de vulnerabilidad y reducir su exposición y vulnerabilidad a [...] crisis y desastres"*. Las metas 2.4 y 9.1 se centran en *"prácticas agrícolas resilientes"* e *"infraestructura resiliente"*, respectivamente. La Meta 11.5 tiene como objetivo *"reducir significativamente el número de muertes y el número de personas afectadas, [...] disminuir las pérdidas económicas directas [...] causadas por desastres, incluidos los desastres relacionados con el agua, con un enfoque en la protección de los pobres y [...] vulnerables"*. La Meta 13.1 es *"fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los peligros y desastres naturales relacionados con el clima [...]"*, mientras que la Meta 15.3 apunta a *"restaurar las tierras degradadas [...] incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones"*. Existen sinergias obvias entre estos objetivos (ONU-Agua, 2016a) y estas sinergias solo pueden volverse más fuertes si se considera que las SbN son el concepto de apoyo para todas ellas.

> Las políticas de gestión de inundaciones en algunos países comenzaron a examinar más de cerca las soluciones que implican trabajar con los procesos naturales

Muchos foros e iniciativas de política internacional señalaron la necesidad de transitar de un enfoque reactivo a las inundaciones a los preventivos, es decir, la reducción del riesgo. Es en el área de reducción de riesgo de inundación que se percibe que las SbN se destacan. El concepto de "vivir con inundaciones", que incluye, entre otras cosas, una variedad de enfoques estructurales (y no estructurales) que ayudan a "estar preparados" para una inundación, puede facilitar la aplicación de las SbN pertinentes para reducir las pérdidas por inundación, y lo más importante: el riesgo (ver Sección 5.4). Además de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030) también hace un llamamiento a las agencias pertinentes de la ONU a fortalecer los mecanismos mundiales existentes e implementarlos para concienciar y mejorar la comprensión de los riesgos relacionados con el agua y sus impactos en la sociedad e impulsar estrategias para la reducción del riesgo de desastres (RRD) (UNISDR, 2015). Este marco también reconoce la necesidad de pasar de la planificación y recuperación principalmente después de un desastre, a la reducción proactiva de los riesgos para evitar desastres. Estipula que las estrategias también deben considerar una gama de soluciones basadas en los ecosistemas. Si se implementan ampliamente, las SbN podrían cambiar la manera en que se gestionan los recursos hídricos, especialmente en el contexto de inundaciones y sequías de alto impacto. El papel principal de las SbN aquí es aumentar la resiliencia para reducir la probabilidad de que ocurra un desastre, aunque también pueden desempeñar un papel en la recuperación posterior al desastre. Las SbN deben formar parte de la planificación y las acciones preparatorias que se requieren para disminuir el riesgo, la vulnerabilidad y la exposición a los desastres, y para aumentar la resiliencia social cuando se produce un desastre y en el período posterior.

Las SbN también se reflejan en la Nueva Agenda Urbana (NUA, por sus siglas en inglés), un marco de sostenibilidad urbana adoptado en el 2016 partiendo de la toma de conciencia de que para el 2050, las poblaciones urbanas se duplicarán y se expandirán al 70% de la población mundial. La NUA tiene como objetivo influir en cómo se planifican, diseñan, financian, desarrollan, gobiernan y gestionan las ciudades. Específicamente, citando enlaces a los ODS, la NUA aborda el tema del agua y las SbN: p. ej., el párrafo 101 hace referencia al agua y las SbN, mientras que el párrafo 157 hace referencia a la innovación basada en la naturaleza (AGNU, 2016). Sin embargo, aún está por ver cómo se puede exactamente gestionar, implementar y ponerse en marcha esta compleja agenda. Finalmente, el Acuerdo de París sobre Cambio Climático 2015 (CMNUCC, 2015) pone un énfasis muy significativo en la adaptación, lo cual no será posible sin implementar una serie de SbN que aborden el aumento de la variabilidad del agua y los fenómenos meteorológicos extremos inducidos por el cambio climático.

## 4.2 Ejemplos de SbN para moderar los riesgos, la variabilidad y el cambio

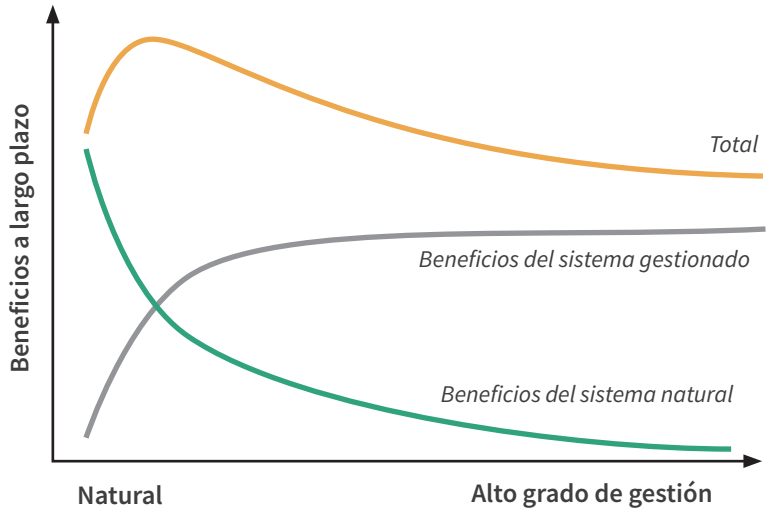
La mayoría de las actuaciones de gestión de los recursos hídricos tienen un elemento de las SbN (PNUMA-DHI/IUCN/TNC, 2014) y lo mismo cabe decir de las actuaciones que se ocupan de la gestión de la variabilidad y el cambio del agua. Cuando un ecosistema natural (p. ej., acuático) se modifica, algunos de los "beneficios naturales" que se extraen de él se pierden, pero pueden ser reemplazados por los beneficios de las modificaciones. Sin embargo, hay un "punto de inflexión" (que es muy difícil de identificar) en este proceso donde la suma de todos los beneficios alcanza el máximo, y las modificaciones adicionales solo disminuirán el flujo total de beneficios (Acreman, 2001, Figura 4.2). En consecuencia, las SbN pueden ubicarse en cualquier parte de este espectro que vaya desde "puramente natural" (un humedal no modificado que puede tener una capacidad natural, aunque limitada, para regular los flujos), hasta una presa de hormigón construida sobre un río natural, pero con componentes y reglas de funcionamiento ecológicamente relevantes, como vertidos especiales con propósitos ambientales.

Existen varias SbN en las diversas etapas de desarrollo e implementación, desde enfoques conceptuales y directrices generales hasta prácticas comúnmente adoptadas. Todos ellos son importantes y útiles por derecho propio, ya sea porque han demostrado su potencial o porque lo demostrarán cuando se adopten.

### 4.2.1 Las SbN para la gestión de inundaciones

Un marco holístico de SbN se ejemplifica en la Guía del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés). *Gestión de inundaciones con soluciones basadas en la naturaleza: Una Guía Verde* (o Flood Green Guide - FGG; WWF, 2017), que apoya a las comunidades a nivel local en el uso de las SbN para la gestión del riesgo de inundación. Esta guía sugiere que las medidas de gestión del riesgo de

**Figura 4.2** Cambios en los flujos de beneficios con la modificación del ecosistema




*Fuente: Acreman (2001, fig. 3).*

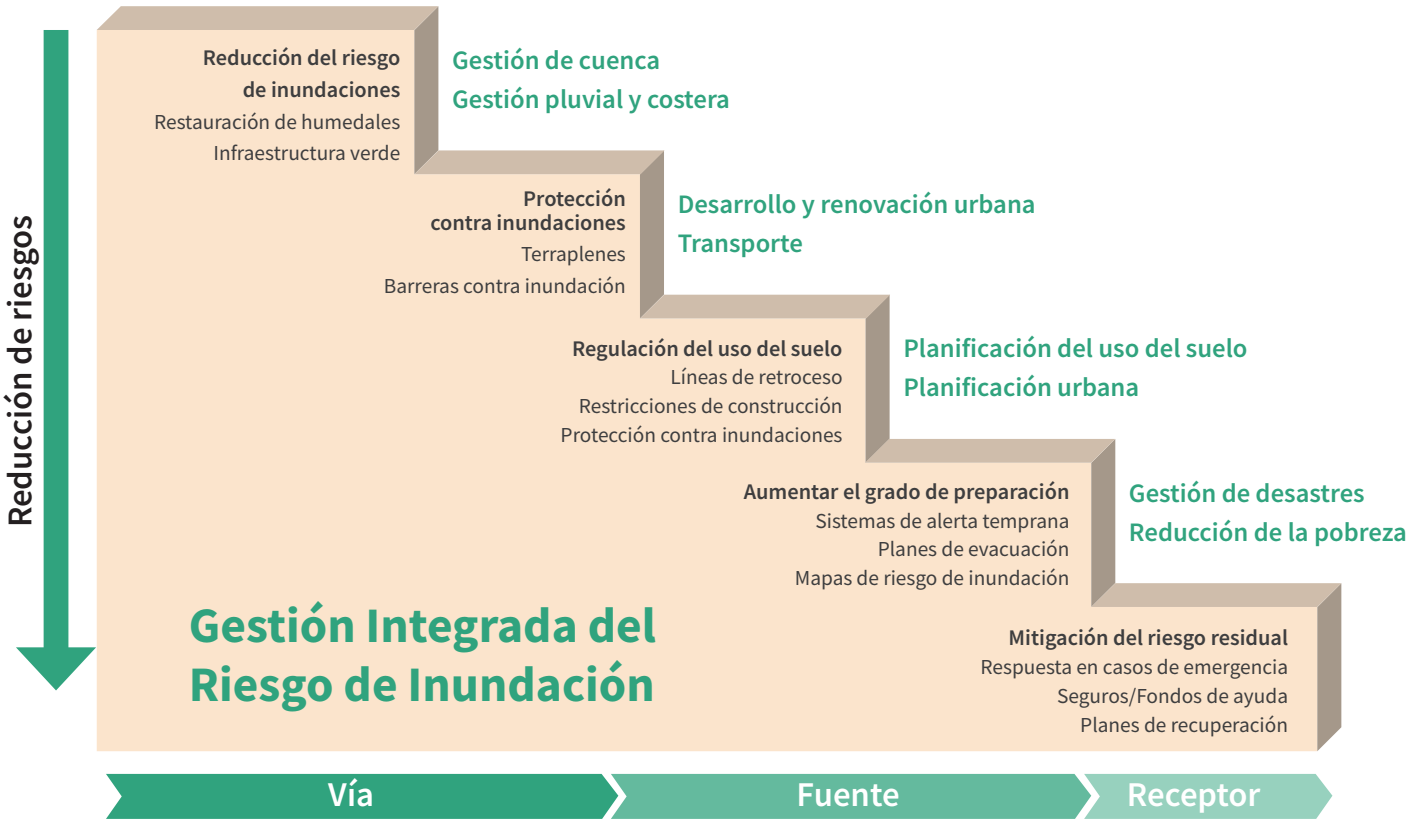
inundación deben ser específicas del sitio, integradas y equilibradas en todos los sectores relevantes, y basarse en el concepto de Gestión Integrada de Crecidas, definido por el Programa Asociado de Gestión de Crecidas (OMM, 2009), un programa conjunto de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Asociación Mundial del Agua (GWP). Los principios clave de la Guía Verde son:

- Diseñar métodos de gestión de inundaciones para maximizar los beneficios netos de las aguas de inundación, al tiempo que se minimiza su riesgo, ya que estas pueden ser un proceso natural y beneficioso.
- Aplicar la gestión del riesgo de inundación con una perspectiva de cuenca para comprender cómo el riesgo de inundación de una comunidad en particular se relaciona con el resto de la cuenca.
- Considerar métodos no estructurales en la gestión de inundaciones, y luego, si es necesario, incluir ingeniería estructural, natural, basada en la naturaleza o ingeniería dura, como parte de un enfoque integrado.
- Reconocer los múltiples aspectos sociales, económicos, ambientales y políticos afectados por la gestión de inundaciones en una cuenca.
- Integrar la reducción del riesgo de inundación y la adaptación a un clima cambiante en la recuperación de inundaciones y la reconstrucción posterior, a fin de que la recuperación de inundaciones mejore la resiliencia de la comunidad a fenómenos meteorológicos extremos futuros, evite la introducción de nuevas vulnerabilidades sociales o ambientales y mejore la capacidad de adaptación comunitaria a las incertidumbres climáticas.
- Fomentar la equidad social y cumplir con las leyes e instituciones locales y nacionales, incluidas las normas y costumbres sociales informales, durante los procesos de toma de decisiones.
- Fortalecer los procesos de resiliencia y los medios de vida y empoderar a las mujeres y/o grupos sociales desfavorecidos.

La gestión de inundaciones, como cualquier tipo de gestión de desastres, considera varios componentes intercalados: la vulnerabilidad y la exposición a las inundaciones, combinadas con el peligro, resultan en el riesgo general de inundación. Una forma de ilustrar esto, es el concepto de la OMM: de la *Fuente al Camino al Receptor (Source-Pathway-Receptor* (SPR, por sus siglas en inglés)) (OMM,

> Las sequías no solo ocurren en las tierras secas, también pueden suponer un riesgo de desastre en regiones que normalmente no sufren de escasez de agua

**Figura 4.3** Ejemplo del concepto SPR de la OMM




*Fuente: Adaptado de la OMM (2017, fig. 4, pág. 14). Cortesía de Giacomo Teruggi (OMM).*

2017). El modelo SPR permite la distinción entre riesgos de inundación, vías que resultan en la exposición de "receptores" y las consecuencias de las inundaciones para las personas y la propiedad. Las SbN pueden desempeñar un papel en la *Fuente* (p. ej., mediante la restauración de humedales o las prácticas de uso de suelo) y en el *Camino* (p. ej., a través de diversas formas de aumentar la capacidad de transporte y almacenamiento) (Figura 4.3).

Burek et al. (2012) ejemplifica un análisis regional a gran escala del potencial que pueden tener las SbN en la reducción del riesgo de inundación. Utilizando un enfoque de modelado y simulación, el estudio evaluó la efectividad (en términos de reducción del pico de inundación) de un amplio rango (25) de la Guía de Medidas Naturales de Retención de Agua (NWRM, por sus siglas en inglés) en Europa, agregándolas a varios escenarios/carteras principales. También se evaluó el costo de implementación. El estudio demostró que las SbN pueden reducir los picos de inundación de 1-20 años en hasta un 15% localmente, aunque a nivel regional, se observaron reducciones del flujo máximo de solo el 4%. Aunque a primera vista tales reducciones pueden parecer pequeñas, solo unos pocos puntos porcentuales pueden marcar la diferencia entre una inundación y un desastre. Se descubrió que las SbN pueden reducir los picos de inundación de manera más efectiva en las cuencas más pequeñas y en períodos de retorno más bajos (inundaciones que ocurren con mayor frecuencia). Al mismo tiempo, el estudio observó casos en los que las SbN podían aumentar localmente los picos de inundación. Esto apunta a la necesidad de que las SbN sean localizadas y diseñadas cuidadosamente.

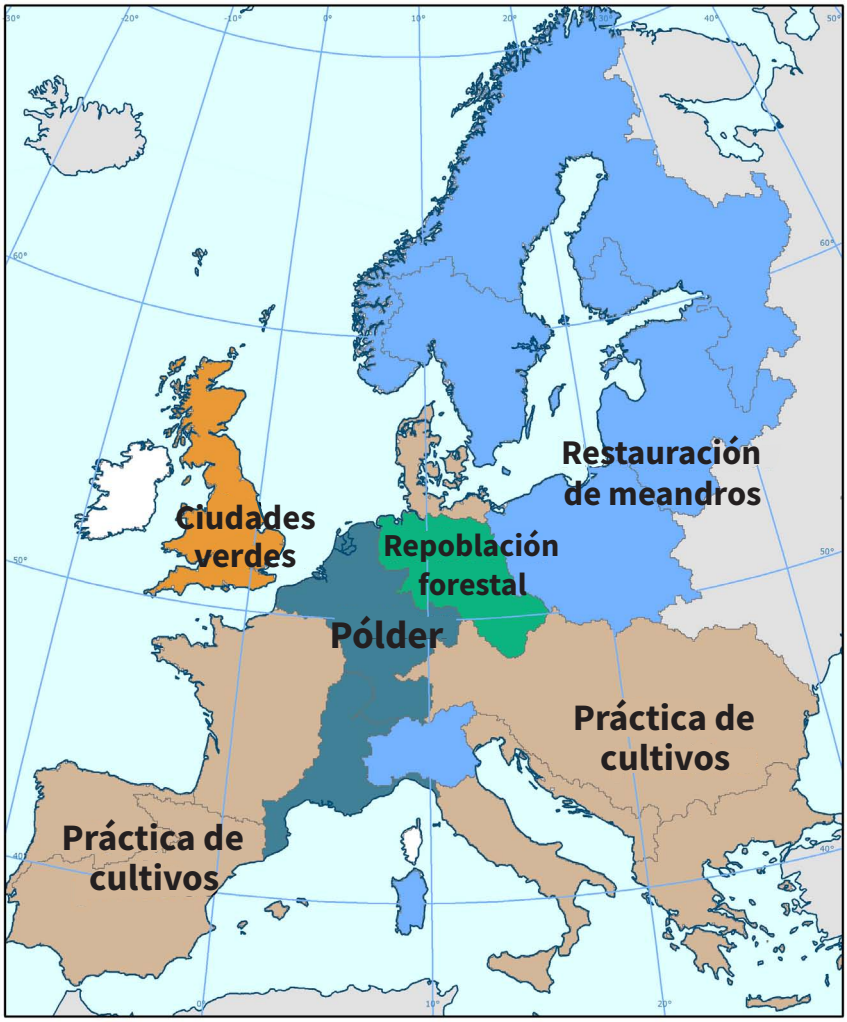
Para el Reino Unido, las medidas más efectivas fueron el escenario de "ciudad verde" (una combinación de medidas en áreas urbanas como la infraestructura verde, los techos verdes, jardines de lluvia, depresiones de parques y dispositivos de infiltración), seguido de mejores "prácticas de cultivo". (una combinación de métodos tales como el cultivo de cobertura (mulching) y de labranza). Para las regiones del Rin y el Ródano, los escenarios más efectivos fueron aquellos que reducen los picos de inundación a lo largo del río, p. ej., pólderes. Para la región del Elba al Ems, la forestación, seguida de cerca por la práctica de cultivos y pastizales, resultó ser la medida más efectiva, ya que gran parte del área tiene un alto potencial para la conversión del uso del suelo. Para las regiones del Po y el Báltico, la restauración de ríos mediante meandros tiene el mayor potencial para reducir los picos de inundación, y también se encontró que era bastante efectiva para casi todas las otras regiones. Las prácticas de cultivo fueron la medida más efectiva para Iberia, la región atlántica de Francia, la cuenca del río Danubio, los Balcanes, el sur de Italia y Grecia.

**Tabla 4.1** Medidas basadas en la captación que contribuyen a la gestión de inundaciones

| Tema de gestión de riesgos de inundación | Medida específica | Ejemplos |
|---|---|---|
| **Retención de agua en el paisaje: retención de agua a través de la gestión de infiltración y del flujo terrestre** | Cambios de uso del suelo | Conversión de las tierras de cultivo en pastizales, silvicultura y plantación de bosques, restricciones en el cultivo de laderas (por ejemplo, maíz de ensilaje), páramos y restauración de turberas |
| | Prácticas de uso de tierras cultivables | Cultivos de primavera versus cultivos de invierno, cultivos de cobertura, extensificación, rotación de cultivos |
| | Prácticas de uso del suelo para uso ganadero | Menores tasas de carga, restricción de la temporada de pastoreo |
| | Prácticas de labranza | Labranza de conservación, arado de contorno/pendiente cruzada |
| | Drenaje del terreno (para aumentar almacenamiento) | Cultivos y drenaje profundos para reducir la impermeabilidad |
| | Franjas y zonas de amortiguamiento | Fajas circundantes de césped, setos, cinturones vegetales, ribazos, franjas ribereñas de amortiguación, controles de erosión de los márgenes |
| | Gestión de maquinaria | Baja presión sobre el suelo, evitando condiciones húmedas |
| | Uso del suelo urbano | Aumento de áreas permeables y almacenamiento de superficie |
| **Retención de agua en el paisaje: gestión de la conectividad y el transporte** | Gestión de la conectividad de laderas | Obstrucción de las zanjas agrícolas and del drenaje de los páramos |
| | Franjas y zonas de amortiguamiento para reducir la conectividad | fajas circundantes de hierba, setos, cinturones vegetales, ribazos, lindes de campos, franjas ribereñas de amortiguación |
| | Mantenimiento de los canales | Modificaciones al mantenimiento de zanjas agrícolas |
| | Operaciones de drenaje y bombeo | Modificaciones a los regímenes de drenaje y bombeo |
| | Estructuras sobre el terreno y estructuras agrícolas | Modificaciones a compuertas, patios, vías y alcantarillas |
| | Retención en la finca | Estanques y zanjas de retención |
| | Restauración fluvial | Restauración del perfil del río y secciones transversales, realineación del cauce y cambios al patrón de cauces en planta |
| | Retención del agua en las tierras altas | Estanques, zanjas, humedales en finca |
| **Crear espacio para el agua: llanura de inundación, conducción y almacenamiento** | Áreas de almacenamiento de agua | Almacenamiento directo e indirecto, terrenos inundables, pólderes, embalses de retención |
| | Humedales | Creación de humedales, almacenamiento artificial, niveles controlados de agua |
| | Restauración y reconversión pluvial | Reperfilado de ríos, obras de canalización, obras de defensa ribereñas |
| | Gestión fluvial y de los cursos de agua | Desbroce, mantenimiento de canales y obras ribereñas |
| | Recuperación de las llanuras aluviales | Compensación de terraplenes, reconexión de ríos y llanuras de inundación |

*Fuente: Dadson et al. (2017, tabla 1, pág. 4).*

**Figura 4.4** Medidas más efectivas de SbN regionales para reducir los picos de inundación en un aluvión de 20 años



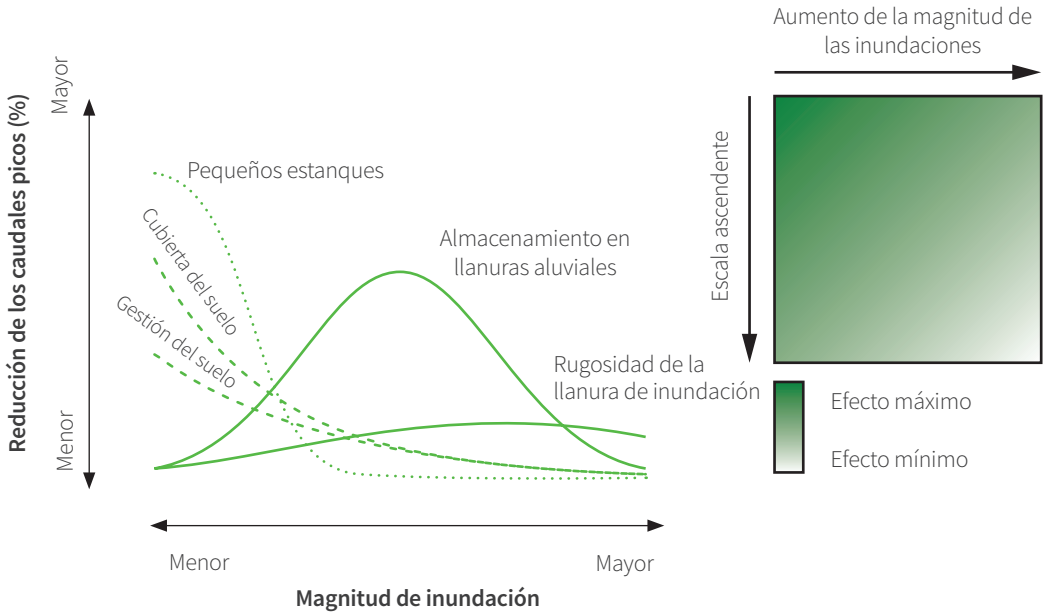

*Fuente: Burek et al. (2012, fig. VI-1, pág. 90).*

Esta práctica también fue una medida bastante exitosa para Dinamarca y el norte de Alemania (Figura 4.4). Queda claro que estos ejemplos demuestran que la elección de las SbN, como cabía esperar, depende del tipo de uso de suelo predominante y los entornos sociales, ecológicos e hidrológicos.

Las políticas de gestión de inundaciones en algunos países comenzaron a examinar más de cerca las soluciones que implican trabajar con los procesos naturales. La "gestión natural de inundaciones" en el Reino Unido, por ejemplo, busca restaurar o mejorar los procesos de captación que se han visto afectados por la intervención humana. Dadson et al. (2017) analizaron más de 20 tipos de medidas de gestión de inundaciones, agrupadas en 3 categorías principales: i) retención de agua mediante la gestión de infiltración y flujo terrestre, ii) gestión de la conectividad hidrológica entre los componentes del sistema y el transporte de agua a través de ella, y iii) creando espacio para el almacenamiento de agua a través, por ejemplo, de las llanuras aluviales (Tabla 4.1). Los autores resumen la evidencia disponible en la actualidad para cada una de las medidas e intentaron un análisis semicuantitativo de los impactos de varias intervenciones de gestión de inundaciones sobre la reducción del riesgo de inundación (Figura 4.5).

El resumen concluye, entre otras cosas, que i) las intervenciones en el uso y la cobertura del suelo elegidas adecuadamente pueden reducir las crecidas locales después de eventos moderados de precipitaciones; ii) la evidencia no sugiere que estas intervenciones tendrán un efecto importante en el riesgo de inundación río abajo cercano para los fenómenos meteorológicos más extremos; iii) es más limitada la evidencia disponible para los efectos río abajo de los cambios de uso del suelo aguas arriba, pero en la actualidad no sugiere que los cambios realistas en el uso del suelo supongan una gran diferencia para el riesgo de inundación aguas abajo; iv) se requiere un monitoreo a largo plazo para separar los efectos de la gestión del suelo de aquellos originados por la variabilidad climática; sin esto, no es prudente extrapolar los hallazgos de los estudios individuales a escalas mayores, o a escenarios con diferentes tipos de suelo y vegetación. (Dadson et al., 2017).

**Figura 4.5** **Efecto de diferentes intervenciones SbN en la reducción de picos de inundación (izquierda) y efecto combinado de intervenciones de cuenca con magnitud de inundación (derecha)**




*Fuente: Dadson et al. (2017, fig. 3, pág. 18).*

Lo mismo probablemente es aplicable a cualquier otra región. Dado que los programas de monitoreo son costosos y requieren largos períodos de tiempo, algunos puntos de vista sobre los posibles impactos del cambio de uso del suelo sobre los impactos y riesgos de las inundaciones se pueden extraer de los análisis de un cambio "impactante del uso del suelo", p. ej., asociado con conflictos bélicos (Lacombe y Pierret, 2013). Dichos estudios sugieren que los impactos a gran escala del cambio de uso del suelo tienen efectos hidrológicos profundos y duraderos. Este conocimiento también ayuda a predecir los impactos potenciales que las SbN pueden tener en la reducción del riesgo, al revertir el cambio negativo de uso del suelo a través de la restauración de la tierra.

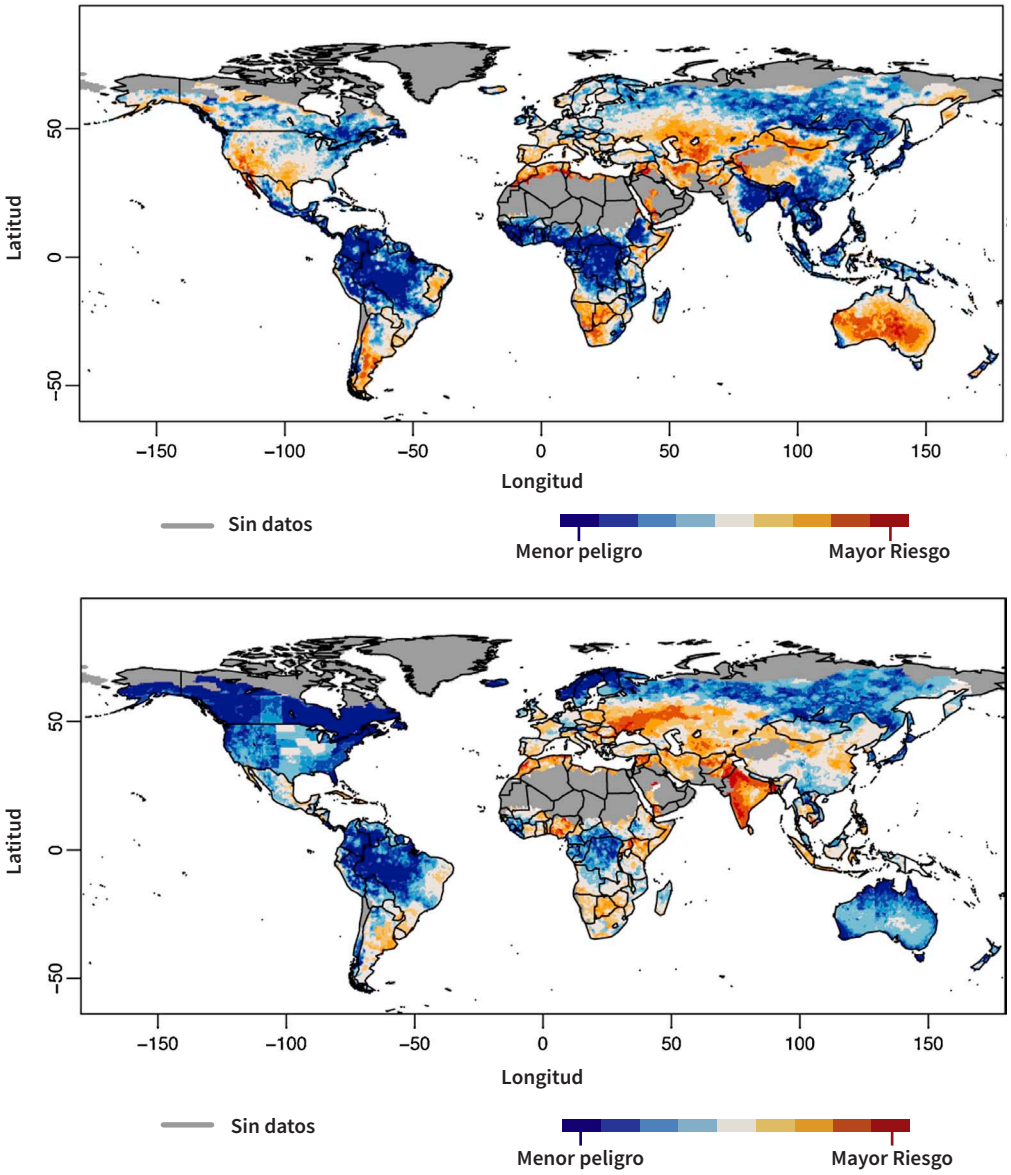
### 4.2.2 Las SbN para la gestión de la sequía

La sequía se encuentra en el otro extremo del espectro de la variabilidad relacionada con el agua. Las sequías suelen ser crónicas (se acumulan y persisten en el largo plazo), a diferencia de las inundaciones, que son agudas (a corto plazo y abruptas). Las sequías no solo ocurren en las tierras secas, como se describe a veces, sino que también pueden suponer un riesgo de desastre en regiones que normalmente no sufren de escasez de agua (Smakhtin y Schipper 2008). La sequía es muy compleja y su patrón global puede describirse utilizando una gama de indicadores (Eriyagama et al., 2009). Carrão et al. (2016) es quizá el análisis más reciente y exhaustivo del riesgo de sequía a escala global, e identifica 3 determinantes independientes: riesgo, exposición y vulnerabilidad. El peligro de sequía se derivó de los déficits históricos de precipitación, la exposición se basa en una agregación de indicadores de densidad poblacional y ganadera, cobertura de cultivos y estrés hídrico; y la vulnerabilidad a la sequía se ha calculado como el conjunto de factores de alto nivel de los indicadores sociales, económicos y de infraestructura, recopilados tanto a nivel nacional como subnacional. Los mapas de peligro y riesgo (Figura 4.6) demuestran que, con medidas adecuadas para reducir la exposición y la vulnerabilidad, el riesgo de sequía puede reducirse considerablemente incluso en regiones con alto índice de peligro de sequía, como Australia y el sur de los Estados Unidos. Es en estos contextos que el papel de las SbN puede resultar más significativo.

En las últimas décadas, la frecuencia, intensidad y duración de las sequías han aumentado de manera constante, debido en parte al cambio climático. En el período 2015-2016, el fenómeno climático de El Niño causó las peores y más destructivas sequías en todo el mundo. Según la Agencia Aeroespacial norteamericana NASA y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), el 2016 batió el récord del año más caluroso desde que comenzó la presentación de informes en 1880. Esto se debió en gran parte a uno de los más fuertes eventos registrados del Niño (NASA, 2017).

La respuesta internacional a la sequía se centró en medidas de "stop and go" (parar y avanzar), que están dirigidas a la reacción ante estos eventos. Se debe fomentar la transición hacia medidas más proactivas y basadas en el riesgo (Wilhite et al., 2007). Las SbN que contribuyen a mitigar los impactos adversos de las sequías, son generalmente de multipropósito y pueden usarse en contextos que van más allá de la gestión de la variabilidad y el cambio (Tabla 4.2). De hecho, la combinación de las SbN que son potenciales para la mitigación de la sequía, es esencialmente la misma que para la disponibilidad de agua (ver Capítulo 2).

**Figura 4.6** Mapas globales de peligro de sequía (arriba) y riesgo (abajo)




*Fuente: Adaptación de Carrão et al. (2016, figuras 3 y 9, págs. 115 y 120).*

### 4.2.3 Las SbN para la gestión de riesgos múltiples

Las SbN se pueden utilizar para gestionar más de un riesgo y aplicarse a los riesgos de inundaciones y sequías, por ejemplo. Como ya se mencionó anteriormente (Tabla 4.1), los humedales –tanto naturales como construidos– pueden desempeñar un papel en la reducción del riesgo de desastres. Tanto los humedales naturales como los construidos demuestran capacidad para la gestión de inundaciones y para la mitigación de inundaciones y del riesgo de tormentas, actuando como barreras naturales, como una esponja natural que atrapa la lluvia y la escorrentía superficial, mitiga la erosión del suelo y el impacto de las marejadas (a menudo desviando las aguas superficiales a acuíferos subyacentes), o protegiendo las costas de las tormentas. A medida que aumenta la frecuencia de los peligros naturales, la comprensión de las funciones de los humedales como una SbN, puede contribuir a aumentar la resiliencia tanto a nivel local como a mayor escala.

Un ejemplo del gran potencial de los humedales como SbN es el caso de la cuenca del río Yangtze en China, donde viven 400 millones de personas, que registró una gran tormenta torrencial en 1998 que causó 4.000 víctimas y daños por 25.000 millones de dólares. Lo más destacado de la política de respuesta denominada "32 *Character Policy*" ( política de 32 caracteres) del gobierno chino fue la restauración de 2.900 $Km^2$ de llanuras aluviales con capacidad para contener 13.000 millones de $m^3$ (es decir, 13 $Km^3$) de agua (Wang et al., 2007) como estrategia de gestión de riesgo de desastres. Se estableció una

**Tabla 4.2** Las SbN para la gestión de riesgos de sequía en el Cuerno de África

| Estudios de caso | Intervenciones – SbN | Resultados |
|---|---|---|
| **La mejora de la seguridad hídrica y alimentaria en la cuenca del we-Atsebeha** (Etiopía) | • Diques de tierra y rocas, zanjas y pozos de percolación<br>• Barrancos erosionados transformados en sitios de captación de agua<br>• Manantiales desarrollados como fuentes de agua potable<br>• Plantación de árboles frutales y especies naturalmente presentes | • Autosuficiencia alimentaria comunitaria mediante la transformación de tierras degradadas en tierras agrícolas productivas<br>• Sistemas de riego mejorados mediante la recolección y el almacenamiento de agua<br>• Cubierta vegetal mejorada que da como resultado una mejor calidad del suelo |
| **Recursos hídricos sostenibles y medios de vida en la cuenca del lago Haramaya** (Etiopía) | • Medidas de conservación de suelos y aguas<br>• Regulaciones, asignación y fijación de precios para el usuario del agua<br>• Opciones de medios de vida diversificadas<br>• Mayor productividad agrícola a través de mejores semillas, fertilizantes y riego eficiente | • Disminución de controversias y conflictos relacionados con el agua mediante el establecimiento de leyes en materia de agua para regular su uso<br>• Mejora de cultivos y de la productividad ganadera mediante estanques y una mayor eficiencia del uso del agua a través del riego por goteo<br>• Mejora de la resiliencia y vulnerabilidad social a la sequía |
| **Captación de agua para el empoderamiento económico en el condado de Kitui** (Kenia) | • Irrigación a pequeña escala<br>• Diques de arena subsuperficiales<br>• Estructuras de almacenamiento y distribución de agua | • El aumento del suministro de agua fue beneficioso para la salud y los medios de subsistencia<br>• Conservación de la biodiversidad y agua subterránea enriquecida mediante la construcción de presas subsuperficiales (de arena)<br>• Menor potencial de conflicto por el agua |
| **Aumento de la resiliencia a la sequía en la subcuenca de Aswa-Agago** (Uganda) | • Mejora de las infraestructuras en los puntos de suministro de agua<br>• Estructuras de captación de agua<br>• Conservación del medio ambiente<br>• Fondos rotatorios de emergencia y comités de usuarios de agua | • La mejora de la calidad del agua dio como resultado una disminución de las enfermedades transmitidas por el agua<br>• Mayor conocimiento de las medidas de conservación ambiental, como la plantación de árboles multipropósito |
| **Restauración de la calidad del agua en el lago Kako** (Uganda) | • Gestión de la captación<br>• Plantación de árboles y otra vegetación | • Capacidad mejorada para utilizar material local para la creación de tecnología<br>• Habilidades adquiridas en la gestión de cuencas y la conservación de la tierra |

*Fuente: En base a GWPEA (2016).*

red de conservación de humedales en la cuenca del río Yangtze para gestionar la calidad del agua, preservar la biodiversidad local y expandir las reservas naturales basadas en humedales (Pittock y Xu, 2010).

Otro ejemplo es el caso del terremoto y el tsunami que afectaron a Chile en 2010, que ocasionaron pérdidas por 30.000 millones dólares, afectando gravemente a los bienes y medios de vida de las comunidades de los humedales costeros (Reserva Nacional de Yali, Valparaíso) (OCDE/CEPAL, 2016). Después de este evento, el gobierno anunció la protección de la mayoría de estos humedales costeros como un sitio Ramsar, reconociendo los beneficios a gran escala de los ecosistemas de humedales en la reducción de riesgo de desastre (RRD). Otro ejemplo es el huracán Katrina, que hizo historia en los EE.UU. como el más mortífero desastre natural (80% de la ciudad inundada, 1.500 víctimas y cerca de 900.000 personas desplazadas) y destacó el fracaso de las estrategias de RRD existentes, que se centraban cada vez más en muros de contención y diques para la ciudad –infraestructura gris en su totalidad. Como se señalaba en el prólogo, la pérdida de humedales en el delta del Mississippi, debido a la retención de sedimentos en las presas río arriba, fue un factor importante que contribuyó a los elevados impactos del huracán. Después del Katrina, la Asamblea legislativa del Estado de Louisiana estableció la Autoridad de Protección y Restauración Costera, y la Ciudad de Nueva Orleans reformuló sus códigos de construcción para beneficiarse de los servicios de reducción de riesgos de los humedales (Jacob et al., 2008; Rogers et al., 2015).

Sin embargo, las funciones hidrológicas de los ecosistemas naturales, como los humedales y las llanuras de inundación, se entienden mucho menos que aquellas proporcionadas por la infraestructura gris. En consecuencia, se encuentran aún más descuidadas en la evaluación de políticas y en la planificación y gestión de los recursos naturales y el desarrollo. Los sistemas naturales pueden, en algunas circunstancias, ayudar a amortiguar el impacto negativo de

> La restauración de las llanuras de inundación y la construcción de nuevos humedales podría ayudar a gestionar la variabilidad y el cambio hidroclimáticos, y que ofrece amplios beneficios colaterales ambientales y socioeconómicos

eventos hidrológicos extremos, reduciendo los riesgos para las personas, de dos maneras. Primeramente, atenuando los impactos físicos inmediatos, y segundo, ayudando a las personas a sobrevivir y recuperarse después de los eventos significativos. Sin embargo, el papel que juegan los sistemas naturales es complejo. Sus efectos sobre los flujos de agua y las marejadas ciclónicas dependen de muchos factores, incluidas otras características de la tierra, que varían ampliamente en cada lugar. Además, los sistemas naturales son dinámicos, lo que significa que su función puede cambiar con el tiempo. A veces, pueden mitigar los peligros, mientras que en otras circunstancias pueden contribuir a los procesos naturales que generan peligros. Por ejemplo, los humedales de cabecera en el sur de África han atenuado los flujos de inundación al comienzo de la estación lluviosa cuando están relativamente secos, pero generan escorrentía y contribuyen a los flujos de inundación posteriormente en la estación húmeda cuando están saturados (McCartney et al., 1998).

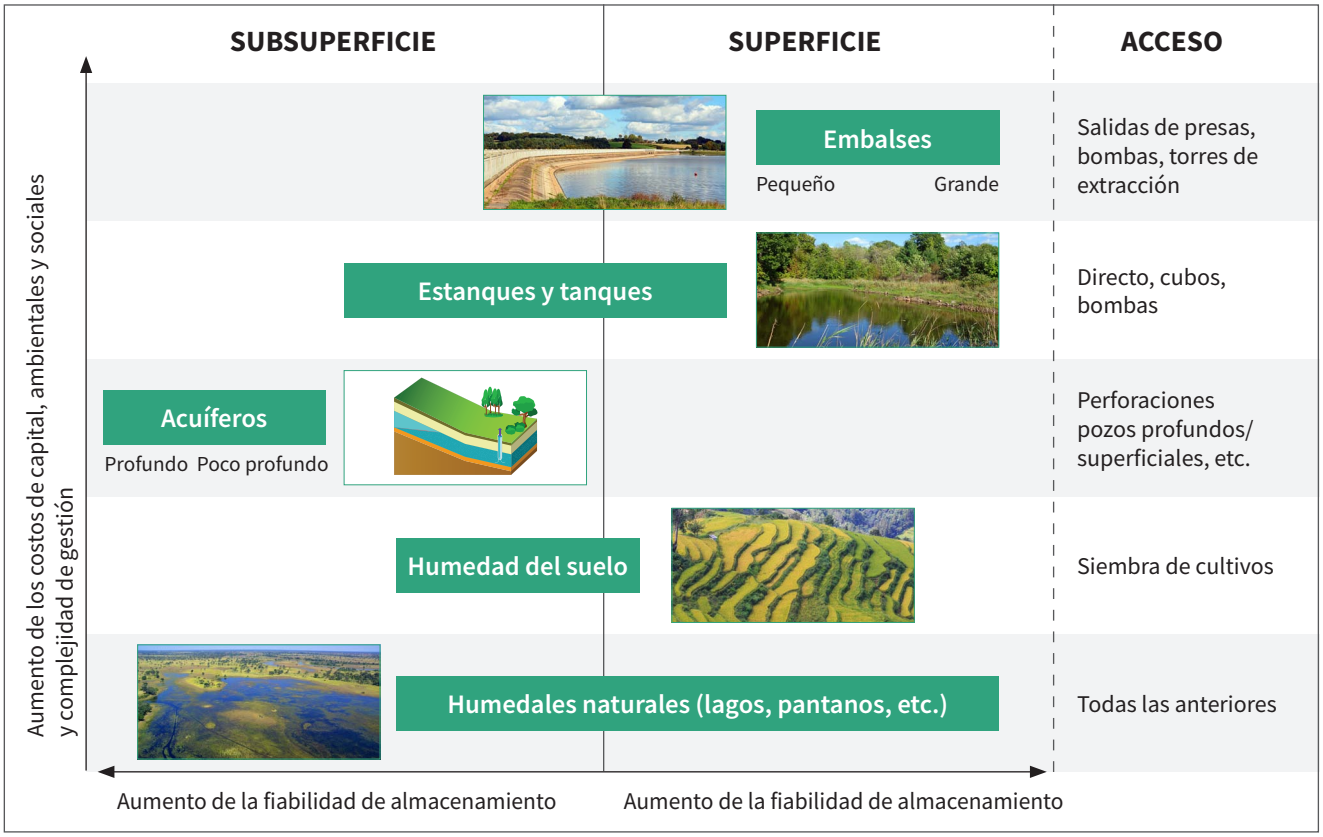
La falta de una comprensión cuantitativa detallada de las funciones reguladoras de los sistemas naturales y las formas de interpretarlas en el contexto de la RRD, sigue siendo la brecha científica más importante. A menudo no está claro qué funciones se realizan exactamente y cómo esas funciones cambian con el tiempo (es decir, entre las estaciones y entre años, Bullock y Acreman, 2003). La falta de información cuantitativa y un método reconocido para incorporar funciones de regulación en los procesos de toma de decisiones relacionados con la RRD hace que sea difícil desarrollar las SbN en torno a ellas. La complejidad añadida es que cada vez es más difícil definir o incluso identificar ecosistemas "naturales". La mayoría de los servicios ecosistémicos en juego en los procesos de RRD proceden de paisajes gestionados, que pueden incluir o no elementos "naturales".

Estas complejidades se ilustran con un intento reciente de evaluar las funciones de regulación del flujo de los ecosistemas naturales (humedales, llanuras de inundación y bosques de miombo) en la cuenca Zambezi, realizado por McCartney et al. (2013). El método desarrollado en este estudio utiliza registros observados de caudales y técnicas hidrológicas estándar *"para derivar una serie temporal simulada de flujo en ausencia de un ecosistema. Esto puede compararse con una serie temporal observada para evaluar el impacto del ecosistema en el régimen de flujo. El método se aplicó a 14 localidades de la cuenca. Los resultados indican que los diferentes ecosistemas afectan a los flujos de diferentes maneras. En términos generales: i) las llanuras de inundación disminuyen los flujos de inundación y aumentan los caudales bajos; ii) los humedales de cabecera aumentan los flujos de inundación y disminuyen los caudales bajos; iii) el bosque de miombo, cuando cubre más del 70% de la cuenca hidrográfica, disminuye los flujos de inundación y los caudales bajos. Sin embargo, en todos los casos hubo ejemplos que producen resultados contrarios y correlaciones simples entre la extensión de un tipo de ecosistema dentro de una cuenca y el impacto en el régimen de flujo no se encontraron".* (McCartney et al., 2013, p.vii). *"Esto confirma que los efectos en el flujo son una función no solo de la presencia o ausencia de diferentes tipos de ecosistemas, sino también de una variedad de otros factores biofísicos, como la topografía, el clima, el suelo, la vegetación y la geología. Por lo tanto, las funciones hidrológicas de los ecosistemas naturales dependen, en gran medida, de las características específicas de la ubicación que dificultan la generalización"* (McCartney et al., 2013, p.26). En gran medida, lo mismo se aplica a la infraestructura gris, los ecosistemas/paisajes gestionados y a las aplicaciones híbridas de infraestructura verde-gris.

Los humedales construidos (ver Capítulos 3 y 5) – otra gama de soluciones híbridas o de SbN – se utilizan cada vez más para el tratamiento de aguas pluviales, la restauración de la hidrología natural de las cuencas hidrográficas urbanas, la reducción de la erosión aguas abajo derivada de los flujos de aguas pluviales y, más recientemente, como una estrategia de gestión de riesgo de desastre (Tidball, 2012). Se argumenta que la restauración de las llanuras de inundación y la construcción de nuevos humedales podría ayudar a gestionar la variabilidad y el cambio hidroclimáticos, y que ofrece amplios beneficios colaterales ambientales y socioeconómicos, ya que contribuye a la protección contra desastres y eventos climáticos extremos (Benedict y McMahon, 2001; Beatley, 2011; Haase, 2016). Los humedales construidos se construyen con el propósito de realizar servicios ecológicos específicos, como el tratamiento de aguas residuales municipales, industriales y agrícolas, o para proporcionar espacios recreativos y la gestión de la escorrentía urbana y rural (TEEB, 2011 y Cuadro 4.1). Por lo tanto, tienen una relevancia significativa para la Nueva Agenda Urbana, ya que pueden aplicarse para moderar los impactos del cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos en entornos urbanos, así como la protección de las áreas urbanas con baja altitud. Singapur ha ejemplificado este argumento para diseñar su plan de mitigación y adaptación climática con humedales construidos y corredores verdes (Newman, 2010).

Las discusiones anteriores hacen alusión a la necesidad de volver a examinar el concepto general de almacenamiento de agua en los contextos de infraestructura verde y gris y de RRD. McCartney y Smakhtin (2010) introdujeron el concepto

**Figura 4.7** El continuum del almacenamiento de agua




*Fuente: Adaptación de McCartney y Smakhtin (2010, fig. 2, pág. 5).*

del continuum del almacenamiento de agua (Figura 4.7), sugiriendo que la planificación de almacenamiento a nivel de cuenca fluvial y regional debería considerar una cartera de opciones de almacenamiento de superficie y subsuperficiales (y sus combinaciones) para alcanzar los mejores resultados ambientales y económicos frente a la creciente variabilidad de los recursos hídricos. El concepto de las SbN era un componente integral de este enfoque, ya que una gama de opciones de almacenamiento consideradas incluía diversas formas de almacenamiento natural, como los humedales y los acuíferos. Sayers et al. (2014) también reconocen que los humedales, las dunas, el almacenamiento de tierras altas y la infiltración son infraestructuras legítimas de gestión de inundaciones y deben utilizarse para gestionar las aguas de inundación junto con la infraestructura gris "convencional", como los terraplenes y las compuertas.

Las medidas naturales de gestión de inundaciones no proporcionarán necesariamente protección contra la mayoría de los eventos meteorológicos extremos por sí mismas, pero pueden moderar las más frecuentes (y las más pequeñas) y reducir el costo de la infraestructura convencional (gris), si se utilizan de manera conjunta. Al mismo tiempo, los resultados iniciales de una cuenca hidrográfica en el Reino Unido mostraron que la defensa convencional contra inundaciones y la gestión natural de inundaciones pueden brindar beneficios comparables, y que los beneficios atribuibles a las actuaciones de gestión de inundaciones naturales aumentan en futuros climáticos más extremos (Sayers et al., 2014).

En términos generales, una combinación de soluciones centradas en la naturaleza o integradas en la naturaleza (como la gestión de los usos del suelo, el almacenamiento de humedales y la reconexión de llanuras inundables) y medidas selectivas de "camino difícil" (como los canales de derivación, el almacenamiento controlado, etc.) ofrece oportunidades para gestionar el riesgo de forma simultánea y promover los servicios ecosistémicos.

Las SbN relacionadas con aguas subterráneas y acuíferos tienen un mayor potencial desaprovechado para mitigar los impactos adversos de las inundaciones y las sequías en la misma región/cuenca, y los impactos del cambio climático progresivo en general. El agua subterránea tiene el importante papel ambiental de sustentar los caudales de los ríos y los servicios ecosistémicos. El agua subterránea también se está convirtiendo en un recurso cada vez más importante para el desarrollo humano y las economías. El agua subterránea es más accesible para las comunidades pobres que el caudal del río, por ejemplo, y es menos vulnerable a los impactos del cambio climático, como el aumento de las temperaturas. Un aspecto relacionado es la función de la gestion mejorada del suelo (una SbN) para gestionar la infiltración y, por lo tanto, la escorrentía y la

recarga de agua subterránea, así como la retención de humedad del suelo, que es un factor particularmente importante para la seguridad del agua para la producción de cultivos.

Los acuíferos pueden tener una gran capacidad de almacenamiento de agua. Esta capacidad no solo incluye aguas subterráneas que ya están en los acuíferos, sino también agua adicional. Un acuífero subterráneo es un amortiguador único para superar las fluctuaciones del suministro de agua natural. Por ejemplo, en áreas que enfrentan variaciones estacionales altas, el exceso de agua en períodos húmedos se puede almacenar en lugares subterraneos para mejorar posteriormente la disponibilidad de agua dulce durante los períodos secos. El almacenamiento subterráneo, mejorado a través de métodos de propagación, recarga o inyección más simples o más avanzados técnicamente, proporciona almacenamiento adicional de agua dulce que puede aumentar la seguridad hídrica. Tales técnicas que intencionalmente mejoran la recarga natural de aguas subterráneas mediante la construcción de infraestructura y/o la modificación del paisaje, se conocen colectivamente como Recarga Gestionada de Acuíferos (MAR por sus siglas en inglés). Esta SbN tiene el potencial de servir para varios propósitos (Dillon et al., 2009; Gale et al., 2006), incluyendo la maximización del almacenamiento de agua, reposición de acuíferos agotados, mejorar la calidad del agua, mejorar la calidad del suelo y proporcionar beneficios ecológicos tales como comunidades de plantas dependientes del agua subterránea o caudales fluviales rio abajo.

Las SbN centradas en aquiferos, como las intervenciones MAR a gran escala, se pueden aplicar en ciertas condiciones fisiográficas para mitigar los riesgos, tanto de inundaciones como de sequías, en la misma cuenca. Estas soluciones sostenibles, rentables y escalables pueden ser especialmente relevantes en el contexto del país en desarrollo, donde la vulnerabilidad a los desastres relacionados con el agua y los impactos del cambio climático no tiene precedentes. Una solución innovadora llamada “Domesticación subterránea de inundaciones para el riego ” (Underground Taming of Floods for Irrigation - UTFI) se ha desarrollado específicamente para tales casos (Pavelic et al., 2012; 2015).

El UTFI facilita la recarga con altos caudales en la estación húmeda para almacenarla en los acuíferos de las cuencas hidrográficas, mitigando así las inundaciones locales y aguas abajo y, simultáneamente, permite hacer frente a las sequías, haciendo que el agua subterránea adicional esté disponible para todas las necesidades humanas, incluida la intensificación de la producción de cultivos de regadío (Pavelic et al. al., 2012; 2015). El UTFI es una aplicación específica que coloca la práctica bien establecida de MAR en una perspectiva de mayor escala, y permite que los recursos de aguas superficiales y subterráneas dentro de una cuenca se administren de manera más integral. El UTFI hace uso de la infraestructura natural (acuíferos) a una escala sin precedentes y, por lo tanto, representa esencialmente un “programa de SbN” a gran escala. La Figura 4.8 ilustra este concepto de SbN al mostrar la transformación prevista de la situación existente (exceso de escorrentía no controlado durante períodos húmedos, que a menudo deriva en inundaciones catastróficas aguas abajo – extremo superior izquierdo), a través de una gama de derivaciones y estructuras MAR en una cuenca (extremo derecho-plano) que captura este exceso de agua en los acuíferos y reduce las inundaciones río abajo, evitando catástrofes (extremo inferior izquierdo) y creando una cuenca “libre de inundaciones y sequías” (extremo inferior derecho), donde se almacena el exceso de agua de la estación húmeda en los acuíferos y se utiliza para el riego en los siguientes años más secos.

**Cuadro 4.1**

## LA GESTIÓN DEL AGUA Y LA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES EN FRANCIA – LAFARGEHOLCIM

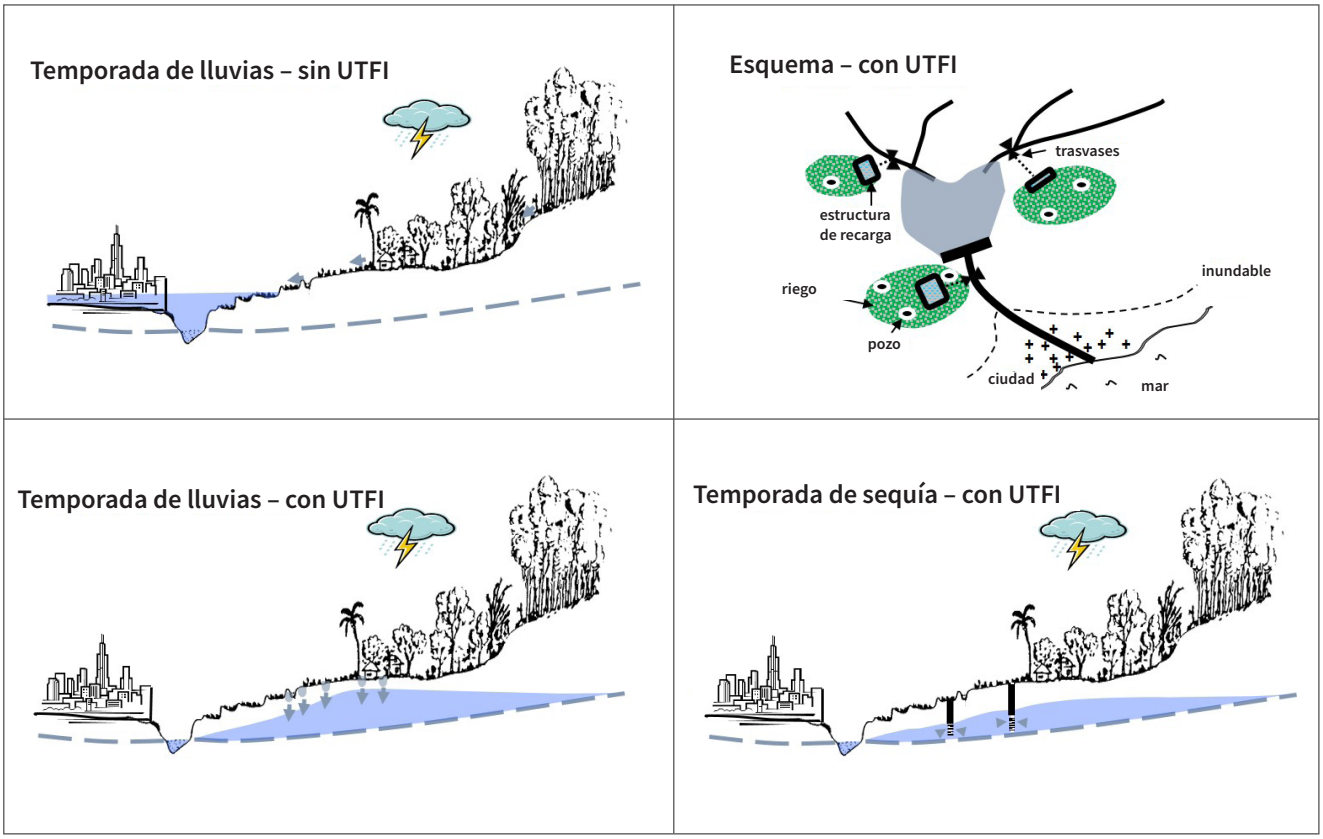
LafargeHolcim – una empresa grande de materiales de construcción – demostró cómo las canteras se pueden aprovechar como reservas de agua durante las inundaciones, y que la capacidad de almacenamiento en las áreas restauradas y diseñadas en las canteras activas reduce o previene las inundaciones. La empresa trabajó durante más de 15 años con el municipio de Bellegarde en el sur de Francia para ampliar la infraestructura de prevención de inundaciones y crear humedales que entraron en pleno funcionamiento en el 2015. Las áreas de cantera extraídas se convirtieron en embalses de aguas pluviales con una capacidad total de 2,5 millones m3, reduciendo el riesgo de inundación en las comunidades locales (ver figura). La experiencia de LafargeHolcim muestra que el desarrollo de esquemas de rehabilitación de canteras realizados conjuntamente con las autoridades y comunidades locales, resulta en una situación en la que todos salen ganando: se evitan daños por inundaciones, se crean áreas de humedales ricas en biodiversidad y se desarrollan áreas recreativas comunitarias (WBCSD, 2015b).

**Figura | Las canteras de LafargeHolcim en el municipio de Bellegarde, sur de Francia, convertidas en embalses de aguas pluviales**



*Foto: WBCSD*

**Figura 4.8** Un resumen esquemático del concepto UTFI




*Fuente: En base a Pavelic et.al. (2012).*

El UTFI tiene como objetivo transformar estos riesgos en beneficios sociales y ambientales en términos de:

• aumento de la seguridad hídrica/resiliencia a la sequía;

• reducción de los costos públicos/privados de la asistencia por inundaciones y daños;

• mayor seguridad alimentaria, producción agrícola, empleo e ingresos de los agricultores; y

• aumento de los flujos base durante la estación seca a ríos y humedales.

Lograr este objetivo requiere una cuidadosa selección del sitio, diseño del sistema, instalación y costos operativos de capital, gobernanza local y conocimiento de los posibles impactos ambientales para garantizar que la implementación responda a la demanda, las condiciones y limitaciones a nivel local. Esto se ejemplifica mediante un análisis de los prospectos de UTFI en la cuenca del río Chao Phraya en Tailandia (Cuadro 4.2).

Este estudio de caso muestra que las SbN, como el UTFI, pueden reducir los riesgos relacionados con las inundaciones y la sequía y, por lo tanto, ofrecen múltiples beneficios. También se desprende de lo anterior que los beneficios socioecológicos del UTFI se vuelven más concretos cuando se implementan a gran escala, p. ej., las cuencas hidrográficas de miles de $Km^2$. Para desarrollar la evidencia que apoye su implementación en la India, el UTFI se está probando actualmente en el Ganges. A pesar de que los programas de recarga de agua subterránea a gran escala han estado operando en la India durante décadas, la atención se ha centrado en las áreas con escasez de agua sin un énfasis real en la gestión del riesgo de inundación. Las cuencas altamente propensas a las inundaciones, como el Ganges, ahora muestran claros signos de agotamiento de las aguas subterráneas (Shah, 2009). Para apoyar la introducción del concepto UTFI en la India, se está llevando a cabo un enfoque en 4 etapas (Pavelic et al., 2015), el cual incluye: i) una evaluación de oportunidad, estableciendo que casi el 70% de la llanura del Ganges tiene una idoneidad alta a muy alta para este concepto; ii) una prueba piloto, iniciada en el distrito de Rampur del estado de Uttar Pradesh, que implicó la renovación de los estanques de las aldeas, la instalación de estructuras de recarga y el monitoreo continuo de los impactos; iii) participación de los actores desde el inicio y durante toda la prueba piloto, incluidas las comunidades agrícolas locales y los funcionarios de los sectores de riego y agricultura, el sector privado y los medios de comunicación, para garantizar la pertenencia a la comunidad; y iv) convergencia con la política, registrando la prueba piloto bajo el emblemático Esquema de Empleo Rural Mahatma Gandhi (que permite a la comunidad ser remunerada por participar en la prueba piloto del UTFI) y en el Esquema

Cuadro 4.2

## EVALUACIÓN DEL CONCEPTO UTFI EN LA CUENCA DEL RÍO CHAO PHRAYA, TAILANDIA

La cuenca del río Chao Phraya (160.400 $Km^2$) experimenta regularmente grandes inundaciones en los tramos superior e inferior, así como también sequías relacionadas con El Niño. Los recursos hídricos están fuertemente asignados en todos los sectores económicos, lo que elimina la posibilidad de nuevos embalses a gran escala - la infraestructura de almacenamiento de aguas grises. Un análisis de los registros de flujo muestra que, en promedio, el 28% de los flujos de la estación húmeda que desembocan en el Golfo de Tailandia (3.370 millones de $m^3$ por año) podría captarse mediante reducción del caudal máximo sin afectar significativamente al uso del agua de los almacenamientos grandes a medianos existentes, ni al ecosistema ribereño o costero.

Los ensayos de campo con cuencas de recarga específicamente construidas revelaron que esta agua podría recargarse fácilmente y alojarse dentro de los vastos acuíferos aluviales poco profundos en las llanuras centrales, situadas aguas arriba de las principales zonas propensas a las inundaciones. Esto también compensaría la disminución en los niveles de agua subterránea en las llanuras agrícolas debido al bombeo durante todo el año para regar cultivos de alto consumo de agua. La captura de los flujos máximos se llevaría a cabo principalmente en los años más húmedos y requiere la conversión de unos 200 $Km^2$ de tierra para la recarga de aguas subterráneas – el equivalente a aproximadamente el 0,1% del área de la cuenca. Esto no solo reduciría la magnitud y los costos de las inundaciones, sino que también generaría alrededor de 200 millones de dólares en ingresos agrícolas al año para impulsar los medios de subsistencia de miles de hogares agrícolas, como resultado del suministro de agua adicional disponible en períodos más secos. Las inversiones de capital podrían recuperarse en marcos temporales de una década o menos. Se necesita una gobernanza cuidadosa para sustentar el éxito del sistema. Por ejemplo, los agricultores tendrían que ser alentados a utilizar sus tierras para recargarlas y, por lo tanto, convertirse en "mayordomos" que administren la infraestructura en beneficio de las comunidades río abajo. Los administradores de los recursos hídricos y las autoridades encargadas de la protección contra inundaciones tendrían que proporcionar la coordinación general, el desarrollo de capacidades e incentivos para una adopción efectiva por parte de los agricultores. Llevar este estudio a la realidad en Chao Phraya requeriría investigaciones detalladas para determinar las áreas donde las condiciones ambientales son adecuadas para la recarga del acuífero, así como los análisis para identificar arreglos institucionales viables (Pavelic et al., 2012).

**Figura | Mantener un estanque creado bajo UTFI**



*Foto: Prashanth Vishwanathan/IWMI*

Nacional Praján Mantri Krishi Sinchayee Yojana (que tiene como objetivo proporcionar el acceso al agua a cada granja), así como la inclusión del UTFI en el Plan de Riego de Distrito para Rampur. Actualmente, se está planificando el establecimiento de un conjunto más amplio de sitios de demostración dentro de la cuenca del Ganges, con el fin de crear una experiencia más diversa y una orientación más sólida sobre las modalidades operativas para apoyar una implementación más amplia. El enfoque UTFI, si se desarrolla en una escala de cuencas grandes como el Chao Phraya o el Ganges, se convierte esencialmente en una alternativa de SbN a las presas convencionales de gran superficie.

## 4.3 Los desafíos para mejorar el potencial de las SbN en el contexto de la reducción de la variabilidad y el riesgo

Existen numerosos desafíos para realizar una amplia adopción e implementación de las SbN. Ambas son globales y genéricas, específicas de la región o basadas en el lugar, y a menudo aplicables a las SbN en general, más que a las SbN en el contexto de la gestión de la reducción del riesgo y la variabilidad únicamente. Dichos desafíos incluyen, pero no están limitados a:

- El predominio absoluto de las soluciones de infraestructura gris para los riesgos relacionados con la variabilidad del agua en los instrumentos actuales de los gobiernos – desde las políticas públicas hasta los códigos de construcción (OMM, 2007). De manera similar, este dominio existe en la orientación de los mercados económicos, la experiencia de los proveedores de servicios y, consecuentemente, en la mente de los responsables políticos y el público en general. Estos factores, en conjunto, resultan en una inercia general contra el desarrollo y uso de las SbN y un sesgo en contra de estas, que a menudo se perciben como menos eficientes que los sistemas antropogénicos/construidos. En otras palabras, como ejemplo, una imagen de un muro o dique de concreto que impide la entrada de agua domina las mentes y las prácticas actuales. Esto conduce a una falta de incentivos, recursos financieros y otros requisitos habilitantes para las SbN que se pueden desarrollar y aplicar en el contexto de la gestión de la variabilidad, los riesgos de desastres y cambios relacionados con el agua. La falta de documentación, comunicación y reconocimiento de los costos que se ahorraron cuando las SbN contribuyeron a reducir el daño ocasionado por eventos meteorológicos extremos a la infraestructura gris, las personas y la economía, se relaciona con esta inercia y contribuye a ello. Además, muy frecuentemente el valor de las SbN y el aumento de los costos por los sucesos extremos relacionados con el agua, solo se vuelven más claros cuando los ecosistemas (y los servicios que brindan) se han deteriorado significativamente y cuando las prácticas convencionales resultan ser insuficientes.
- La falta de conciencia, comunicación y conocimiento de lo que las SbN realmente pueden ofrecer para reducir los riesgos de variabilidad del agua, en comparación con las soluciones grises "convencionales" en todos los niveles, desde las comunidades hasta los planificadores regionales y los hacedores de políticas nacionales (OMM, 2006). Esto también es parcialmente causado por el insuficiente nivel de investigación y desarrollo en las SbN relacionadas con la reducción de riesgo de desastres, especialmente en términos de análisis de costo-beneficio del desempeño de las SbN en comparación o en conjunto con soluciones grises.
- La falta de comprensión de cómo integrar la infraestructura construida y la natural para mitigar los riesgos de inundaciones, sequías y la variabilidad del agua en general, y la falta general de capacidad para implementar las SbN en el contexto de la reducción del riesgo relacionado con el agua, incluso en aquellos casos donde hay disposición para implementarlas. Por ejemplo, las SbN de gran escala a nivel de cuenca como el enfoque UTFI, descritos anteriormente, no han alcanzado la etapa de los manuales documentados, y solo se están en período de prueba. Este problema es posiblemente típico de todas las tecnologías nuevas o emergentes, si es que las SbN se pueden ver como una "tecnología". Además, los desincentivos se producen cuando una SbN mal diseñada falla, y contribuyen al sesgo mencionado anteriormente.
- Mitos y/o incertidumbre sobre cómo funciona la infraestructura natural (p. ej., en relación con bosques, humedales y acuíferos), qué significan los servicios ecosistémicos en términos prácticos (y en particular cómo los servicios de regulación de flujo – el servicio ecosistémico más relevante en el contexto de gestión de riesgo y variabilidad – se manifiestan). Lo anterior se traduce en una falta de conocimiento cuantitativo sobre qué impacto positivo se puede lograr, por ejemplo, reduciendo los picos de las inundaciones o la severidad de la sequía.
- Dificultades para proporcionar evaluaciones claras sobre el desempeño de los proyectos relacionados con las SbN en el contexto de la reducción de riesgos. Tampoco está del todo claro, a veces, qué constituye una SbN y qué es una solución híbrida. Hay una falta de directrices, herramientas y enfoques técnicos para determinar la combinación correcta de las SbN y las opciones de infraestructura gris.
- El uso de la tierra para las SbN puede generar tensión y posibles conflictos con los usos alternativos del suelo. Sin embargo, para ser justos, debe tenerse en cuenta que la infraestructura gris a menudo es un consumidor directo de los recursos del suelo o tiene impactos adversos indirectos en la tierra. Al mismo tiempo, algunas SbN (por ejemplo, el UTFI) solo requieren una pequeña proporción del área de una cuenca fluvial para lograr el efecto de reducir los impactos tanto de las inundaciones como de las sequías a lo largo de toda la cuenca.
- Un desafío más implícito pero real es el dominio restante de un enfoque reactivo más que proactivo para la gestión de desastres relacionados con el agua. Un enfoque reactivo se ocupa de las consecuencias de los desastres y, en ese contexto, el uso de las SbN es limitado. Las SbN pueden tener un potencial mucho mayor si están "activadas" en la planificación e implementación de medidas de reducción de riesgos, antes de que ocurra un desastre.

# 5 EXPERIENCIAS NACIONALES Y REGIONALES CON IMPLEMENTACIÓN



**WWAP** | Richard Connor y David Coates

**Con aportes de**[12]: Andrei Jouravlev (CEPAL); Aida Karazhanova y Stefanos Fotiou (CESPAP); Simone Grego (Oficina Regional Multisectorial de la UNESCO en Abuja); Carol Chouchani Cherfane y Dima Kharbotli (CESPAO); Chris Zevenbergen (IHE Delft); Rebecca Welling (UICN); Chris Spray (Centro para Derecho del Agua, Políticas y Ciencia de la Universidad de Dundee (bajo los auspicios de la UNESCO)); Tamara Avellán (UNU-FLORES)[13] ; Dragana Milovanović (ISRBC); Franco A. Montalto (Universidad de Drexel); Anne Schulte-Wülwer-Leidig (ICPR); Marta Echavarria (EcoDecision); Shreya Kumra (CESPAP); y Pablo Lloret (EPMAPS)

Puente de madera en Wuyuanwan Wetland Park en Xiamen (China)



## 5.1 Introducción

Mientras que los capítulos anteriores examinaron las oportunidades para la implementación de las SbN en el contexto de los tres objetivos fundamentales de gestión del agua – mejorar la disponibilidad y la calidad del agua y reducir el riesgo de desastres (RRD) – este capítulo recoge una visión más amplia de la evaluación de los aspectos relevantes en la implementación de las SbN de beneficios múltiples relacionados con el agua y beneficios colaterales en diferentes países y regiones, destacando excelentes ejemplos y lecciones aprendidas.

Las diferentes regiones (y subregiones) pueden enfrentar desafíos relacionados con el agua similares o diferentes y con distintas intensidades, derivados de una combinación de condiciones hidrológicas físicas, así como el estado de la gestión general de los recursos hídricos, incluida la gobernanza, la capacidad, la economía y las finanzas. Aunque esto puede resultar en una combinación y nivel de implementación diferentes de las SbN, pueden surgir ciertas similitudes y, por lo tanto, las lecciones aprendidas en un país o región pueden contribuir a proporcionar información para su implementación en otro país o región.

[12] Los autores desean expresar su agradecimiento a Alexander Belokurov, Sonja Koeppel y Annukka Lipponen de UNECE por su aportación.

[13] Las opiniones expresadas en este capítulo son las del/los autor/autores. La inclusión de las mismas no implica que cuenten con el respaldo de la Universidad de las Naciones Unidas

## 5.2 La implementación de las SbN a escala de cuenca

### 5.2.1 Gestión de cuencas hidrográficas

Como se describe en la Sección 1.3, las características biológicas y geofísicas de una cuenca afectan directamente a la cantidad y calidad del agua que fluye río abajo en el tiempo y el espacio. Cualquier cambio significativo en estas características (es decir, el factor LULUC) puede alterar estas características hidrológicas. Por lo tanto, cabe considerar que la mejora de la gestión de la tierra incluye un conjunto de SbN que en conjunto puede aumentar la seguridad hídrica. Podemos encontrar ejemplos de tales prácticas en todas las regiones.

En Arabia Saudita, el *hima*, una práctica que data de hace 1.500 años, es un enfoque organizado de protección de los recursos hídricos y de la tierra. Bajo este esquema, los actores controlan colectivamente el uso de los pastizales y son responsables de preservar la tierra, las reservas de semillas y los recursos hídricos. El debilitamiento de las estructuras tribales aunado al cambio de los usos del suelo en la región, originó la eliminación progresiva del esquema de gestión *hima* al paso del tiempo. Sin embargo, se han emprendido iniciativas para revivir al *hima* como un esquema de gestión para apoyar la conservación de la tierra y los recursos naturales (AEDSAW, 2002). También se han puesto en marcha iniciativas similares para revivir estas antiguas prácticas de gestión de la tierra y el conocimiento tradicional y cultural que las acompañan en otros países de la Región Árabe, incluida Jordania (Cuadro 5.1)

La restauración y protección de las cuencas hidrográficas se vuelve cada vez más importante en el contexto del mantenimiento del suministro de agua a las ciudades en rápido crecimiento. Muchas de estas se ven cada vez más afectadas por la deforestación, el cambio de uso del suelo, la agricultura intensiva, la minería, el crecimiento poblacional y el cambio climático. Su degradación afecta negativamente al suministro de agua, especialmente para la población urbana, reduciendo la disponibilidad de agua al menos en ciertas estaciones, agravando las inundaciones urbanas en otras, deteriorando la calidad del agua y aumentando los costos del suministro y tratamiento del agua urbana.

Los impactos de la degradación de las cuencas se ejemplifican en la situación de la cuenca del Upper Tana en Kenia (ver cuadros 2.5 y 5.4), que suministra el 95% del agua potable de Nairobi y el 50% de la energía hidroeléctrica de Kenia. En los últimos 45 años, algunos de los bosques situados en la cuenca han sido reemplazados por campos agrícolas, y la demanda de agua para sustentar la producción hortícola ha aumentado. La invasión de los humedales naturales, que alguna vez almacenaron agua de escorrentía y recargaron los acuíferos, ha causado la reducción de los flujos en la estación seca. La expansión agrícola, junto con la erosión del suelo y los deslizamientos de tierra, han incrementado los sedimentos en los ríos locales. Estos factores han disminuido los rendimientos de los recursos hídricos durante los períodos secos y

**Cuadro 5.1**

### RESTAURACIÓN DE SISTEMAS HIMA EN JORDANIA

Se implementó un proyecto para revivir la práctica tradicional *hima* de gestión de la tierra en la cuenca del río Zarqa, que alberga a la mitad de la población de Jordania. La gestión inadecuada de la tierra y los recursos y el desarrollo insostenible ha provocado la degradación del suelo y la sobreexplotación de los recursos de agua subterránea. Tradicionalmente, se adoptaban las prácticas del *hima* de gestión de la tierra, que básicamente consistían en apartar tierra para permitir que se regenerara de manera natural. En forma conjunta, esto reduciría el estrés en los recursos de agua subterránea, tanto desde la perspectiva de la calidad como de la cantidad del agua. Sin embargo, como resultado del crecimiento poblacional y de la demarcación de las fronteras interestatales que restringieron la movilidad, la práctica fue reemplazada por la agricultura intensiva continua.

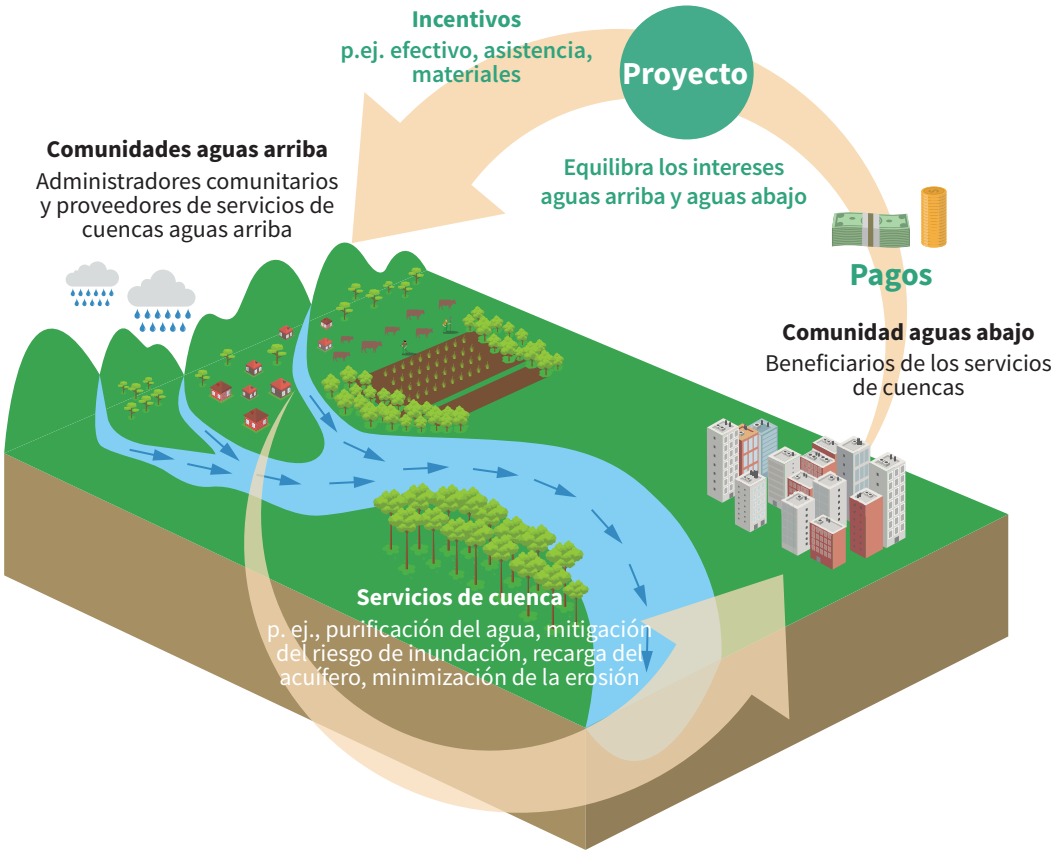
La investigación también ha demostrado que el cambio del *hima* a estas prácticas insostenibles de manejo de la tierra se vio agravado por los cambios en la tenencia de la tierra, de la propiedad de la tierra tribal a la privada, y la emisión de subsidios gubernamentales para el cultivo en la estación seca. En el marco del proyecto de revitalización de las prácticas de gestión de tierras *hima*, se realizaron esfuerzos para empoderar a las comunidades locales transfiriéndoles derechos de gestión. Los resultados también demostraron un aumento en el crecimiento económico (por ejemplo, mediante el cultivo de plantas autóctonas de valor económico) y la conservación de los recursos naturales en la cuenca del río Zarqa.

En el marco de la implementación del proyecto, también se establecieron alianzas gubernamentales y comunitarias. Se realizaron talleres de desarrollo de capacidades con el fin de intercambiar información sobre las lecciones aprendidas y los desafíos, así como campañas de concienciación para promover los temas en cuestión. En vista del éxito de esta iniciativa, la Estrategia Nacional de Pastizales de Jordania (2014) incorporó el enfoque *hima* como un medio eficaz para abordar la gobernanza de los pastizales nacionales.

*Fuentes: Cohen-Shacham et al. (2016) y Ministerio de Agricultura de Jordania (2014).*

*Contribución de Carol Chouchani Cherfane (CESPAO).*

**Figura 5.1** Un esquema típico de PSA de cuencas hidrográficas




*Fuente: Bennett et al. (2013, fig. 7, pág.1).*

aumentado la carga de sedimentos en la escorrentía. La resiliencia del sistema para hacer frente a las sequías disminuyó y las interrupciones de los equipos a causa de la escorrentía cargada de sedimentos durante la estación húmeda aumentaron los costos de tratamiento del agua, en algunos casos en más del 33% (Hunink and Droogers, 2011; TNC, 2015).

Esta situación explica el creciente interés de las autoridades del sector de abastecimiento de agua y saneamiento, gobiernos locales y compañías de agua por la aplicación de las SbN, particularmente en la gestión de cuencas hidrográficas, para la protección de las fuentes de suministro de agua urbanas, especialmente en lo que respecta a la calidad del agua (principalmente fertilizantes, herbicidas e insecticidas de la agricultura intensiva, bacterias y nutrientes de la producción ganadera y sedimentos de la deforestación). Se espera que una mayor atención al manejo de cuencas –particularmente la protección de las tierras, la reforestación y restauración ribereña – ayude a reducir los costos de explotación y mantenimiento de los servicios urbanos de agua, mejore la calidad del servicio y demore la costosa inversión de capital en la expansión de la capacidad (Echavarria et al. 2015). La gestión de cuencas hidrográficas no solo se ve como un complementorentable para la infraestructura construida o "gris", sino también como una forma de generar otros beneficios importantes, a saber, el desarrollo económico local, la creación de empleo, la protección de la biodiversidad y la resiliencia climática (LACC / TNC, 2015 )

### 5.2.2 Pagos por servicios ambientales

El caso del mantenimiento del sistema de suministro de agua para la ciudad de Nueva York, iniciado en 1997, es uno de los ejemplos mejor conocidos y documentados sobre la implementación de las SbN para la protección de cuencas. Este fue también uno de los primeros sistemas reconocidos sobre el exitoso Pago por Servicios Ambientales (PSA). Actualmente, las tres cuencas hidrológicas protegidas brindan a la ciudad de Nueva York el mayor suministro de agua sin filtrar de EE. UU., lo que le ahorra a la ciudad más de 300 millones de dólares al año en costos de explotación y mantenimiento por concepto de tratamiento de agua. El programa también sirve como una alternativa a la construcción de una planta de tratamiento de agua que habría tenido un coste estimado de entre 8.000 y 10.000 millones de dólares (Abell et al., 2017).

Los esquemas del PSA brindan incentivos (monetarios o de otro tipo) a los propietarios o agricultores a cambio de prácticas sostenibles de uso del suelo (agricultura, silvicultura, etc.). El objetivo es que aquellos que se benefician (p. ej., una compañía de agua) de los servicios ambientales (p. ej., una mejor calidad de agua en un río) paguen por su provisión (p. ej., para una mejor gestión del uso de pesticidas y fertilizantes o la preservación de la cubierta forestal) a aquellos, usualmente aguas arriba, que pueden proveerlos (p. ej., agricultores o propietarios de tierras), para garantizar su producción continua (Figura 5.1).

Cuadro 5.2

## EXPERIENCIA CON EL PSA EN LA REGIÓN ASIA-PACÍFICO

Las deficiencias financieras y otros desafíos relacionados con la protección de las cuencas, se están abordando en Vietnam a través de un marco piloto de 2008 sobre el Pago por Servicios Ambientales Forestales (PSAF, Decisión 380), centrado en el suministro de agua y la conservación del paisaje para fines turísticos a través de contratos locales. En 2009, los ingresos locales derivados de los compradores de servicios, en su mayoría empresas de suministro de agua y energía hidroeléctrica, fueron de aproximadamente 4 millones de dólares. Debido a esta política instrumental activa, en 2013 los usuarios, organismos operadores y las empresas de agua habían pagado colectivamente 54 millones de dólares a las comunidades basadas en los bosques por los servicios de cuencas hidrográficas que brindaban (To et al., 2012).

*Contribución de Aida Karazhanova y Stefanos Fotiou (CESPAP).*

La región de Latinoamérica y el Caribe (LAC) tiene amplia experiencia en la implementación de los esquemas de PSA de cuencas hidrográficas – también conocidos como "esquemas de inversión en servicios de cuencas hidrográficas" (Bennett et al., 2013). En 2013, la Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas (ADERASA) creó un grupo de trabajo dedicado específicamente a la infraestructura verde (Herrera Amighetti, 2015). Su misión es sistematizar y analizar las experiencias de los países de América Latina en la inversión en infraestructura verde como un medio para mejorar la disponibilidad de agua y prevenir el deterioro de la calidad de la misma. Estas inversiones pueden tomar varias formas institucionales, pero generalmente se implementan como PSA. Este interés en PSA se explica en gran medida por el hecho de que los gobiernos en toda la región de LAC, como en otros lugares, tienen capacidades limitadas y débiles de control, monitoreo y cumplimiento (Stanton et al., 2010; Embid y Martín, 2015) – especialmente en cuanto a la gestión de los recursos hídricos, uso del suelo, y control de la contaminación y eliminación de desechos sólidos especialmente fuera de las ciudades más grandes. Además, resulta habitual que las fuentes de agua de un municipio estén ubicadas en la jurisdicción de otro en países donde la provisión de servicios de agua y saneamiento se ha descentralizado a nivel municipal, lo que complica aún más la protección de las fuentes de agua (Jouravlev, 2003).

También se han documentado ejemplos exitosos de esquemas de PSA en otras regiones del mundo, incluyendo Asia-Pacífico (Cuadro 5.2) y África (Cuadro 5.3). Tan solo en la cuenca del río Mekong se han documentado esquemas de PSA con componentes de protección de cuencas en Camboya, Laos, Tailandia y Vietnam, aunque en este último caso se trata del único país en el Sudeste asiático que tiene un plan nacional formal de PSA (Tacconi, 2015). El Banco Asiático de Desarrollo (BAsD) estima que al menos

Cuadro 5.3

## ESQUEMA DE PSA EN EL LAGO NAIVASHA, KENIA

El lago Naivasha en Kenia ha sido reconocido como un "humedal de importancia internacional" en virtud de la Convención de Ramsar sobre Humedales. Tanto la agricultura a pequeña escala como la horticultura comercial intensiva, incluyendo el cultivo de flores, tienen malas prácticas de uso del suelo dentro de la cuenca, ocasionando la degradación de los servicios ecosistémicos, pérdidas económicas, empeoramiento de la pobreza y reducción de la biodiversidad.

Un sistema de PSA centrado en los recursos hídricos reunió a socios como proveedores/comerciantes de servicios ecosistémicos (principalmente pequeños productores aguas arriba) y "compradores/usuarios" (incluida la industria hortícola más importante del lago), así como a las principales agencias nacionales y locales involucradas en la regulación de estos servicios a través de acuerdos contractuales negociados entre los administradores de los ecosistemas y los beneficiarios.

Se realizaron actividades intensivas de información y concienciación a niveles muy localizados (p. ej., talleres y seminarios, tanto dentro como fuera de la finca) para mejorar la comprensión y la aceptación por parte de la comunidad y todos los actores.

Los cambios en las prácticas de gestión de la tierra dirigidos a mejorar la calidad y cantidad del agua corriente abajo incluyeron:

- rehabilitación y mantenimiento de zonas ribereñas;
- creación de franjas de hierba y terrazas para reducir la escorrentía y la erosión en pendientes pronunciadas;
- uso reducido de fertilizantes y pesticidas; y
- agroforestería, plantación de árboles nativos y árboles frutales de alto rendimiento y cultivos de cobertura para mejorar la productividad agrícola, reducir la escorrentía y la erosión y aumentar la biodiversidad.

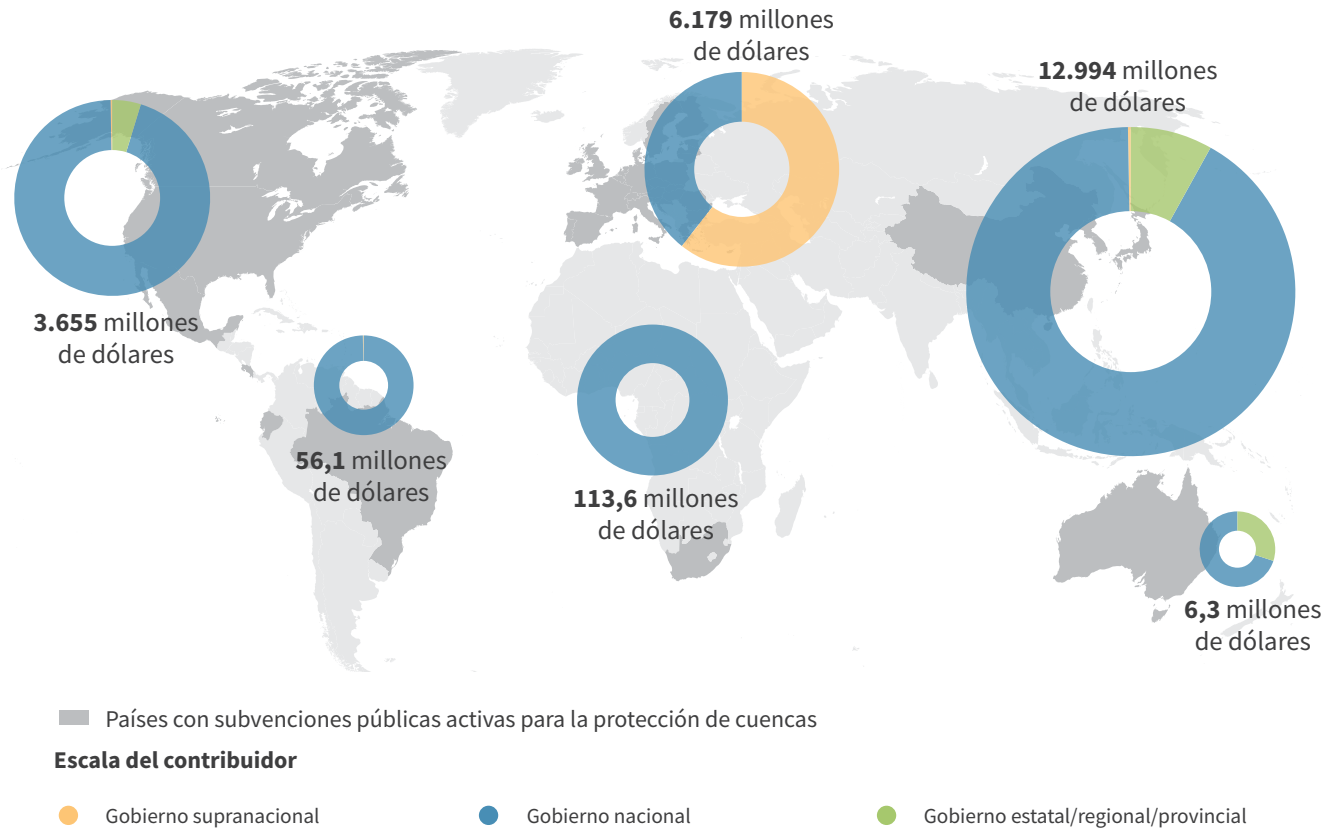
El proyecto también incluyó la capacitación para los agricultores por parte del Ministerio de Agricultura y la Autoridad de Desarrollo de Cultivos Hortícolas, sobre temas como técnicas de conservación de suelos y aguas a fin de impulsar la productividad agrícola, mejorar las técnicas de almacenamiento de forraje y el uso de variedades de cultivos más productivas y de alto valor.

El uso de incentivos económicos, tanto para los compradores como para los vendedores de los servicios ecosistémicos, contribuyó a lograr importantes mejoras en la gestión del agua y de la tierra, al tiempo que brinda beneficios tangibles de subsistencia.

*Fuente: Chiramba et al. (2011).*

Puede obtener más información en: www.gwp.org/en/learn/KNOWLEDGE_RESOURCES/Case_Studies/Africa/Kenya-Shared-risks-and-opportunities-in-water-resources-Seeking-a-sustainable-future-for-Lake-Naivasha/

**Figura 5.2** **Subvenciones públicas para la protección de cuencas en 2015: Países con programas de subvenciones públicas y participación de los contribuidores en el valor total por región**




Nota: Basado en 23.000 millones de dólares en transacciones en 2015. Para otros 727 millones de dólares en subvenciones públicas en 2015 no fue posible determinar las contribuciones relativas de los gobiernos nacionales y subnacionales.

*Fuente: Adaptación de Bennett y Ruef (2016, Mapa 2, pág.14).*

se necesitan 59.000 millones de dólares en inversiones para el suministro de agua y 71.000 millones de dólares para la mejora del saneamiento, a fin de cubrir las necesidades básicas en la región. Se estima además que entre un 70 y un 90% de las aguas residuales domésticas e industriales se vierten sin ningún tratamiento previo (BAsD, 2013), lo que conlleva una mayor degradación del ecosistema. El gasto de una parte de esta inversión requerida en la protección de cuencas y otras SbN relevantes, se acepta cada vez más como una forma apropiada para enfrentar estos desafíos.

Los esquemas de PSA a menudo se implementan mediante fondos de agua y de conservación, financiados a través de subsidios gubernamentales y contribuciones pagadas por los grandes usuarios de agua (tales como organismos operadores de agua urbanos, plantas de generación hidroeléctrica y compañías de agua embotellada o sodas) ubicados en las áreas bajas de una cuenca, con el fin de apoyar las actividades de gestión de cuencas en las zonas altas y medias de la cuenca (Calvache et al., 2012; Jouravlev, 2003). En muchos casos, son esencialmente asociaciones público-privadas.

Los fondos de agua se utilizan para proporcionar incentivos monetarios y no monetarios a las comunidades, los agricultores y propietarios privados ubicados aguas arriba (Cuadro 5.4) para proteger, restaurar y conservar los ecosistemas naturales (bosques, humedales, etc.) que brindan beneficios a los usuarios de agua corriente abajo en forma de regulación de agua, control de inundaciones y control de erosión y sedimentos, entre otros, asegurando así un suministro de agua constante y de alta calidad, y contribuyendo a reducir los costos de tratamiento de agua y mantenimiento de equipos (Cuadro 5.5). Los fondos generalmente se rigen por un contrato entre los miembros fundadores, que designa una institución independiente para administrar los recursos financieros y garantizar que se ocupan en actividades de protección de cuencas hidrográficas en cumplimiento de los objetivos del fondo (Stanton et al., 2010). Ya existen más de 20 de estos fondos de agua operando solamente en la región de LAC (Echavarria et al., 2015).

Según el Mercado de Ecosistemas del Forest Trends (Tendencias Forestales) (Bennett y Ruef, 2016), los gobiernos, organismos operadores de agua, las empresas y comunidades gastaron casi 25.000 millones de dólares en pagos por infraestructura verde para el agua en el 2015, afectando positivamente a 487 millones de hectáreas de tierra. Las transacciones crecieron aproximadamente un 12% anual entre 2013 y 2015, lo que sugiere un rápido aumento en el nivel de aceptación. El financiamiento para la gran mayoría de estos esquemas de PSA (23.700 millones de dólares) se deriva de los gobiernos nacionales (Figura 5.2) o, en

Cuadro 5.4

## FONDO DE AGUA DEL UPPER TANA-NAIROBI

El Fondo de agua del Alto Tana-Nairobi se puso en marcha en marzo de 2015 para brindar a los residentes de la cuenca la oportunidad de mitigar las amenazas asociadas con la degradación de la cuenca. Además, el objetivo del fondo es asegurar los suministros de agua de Nairobi al tiempo que mejora los medios de subsistencia agrícolas, mantiene el flujo de la estación seca en cuencas seleccionadas y, por lo tanto, contribuye a la resiliencia a las sequías.

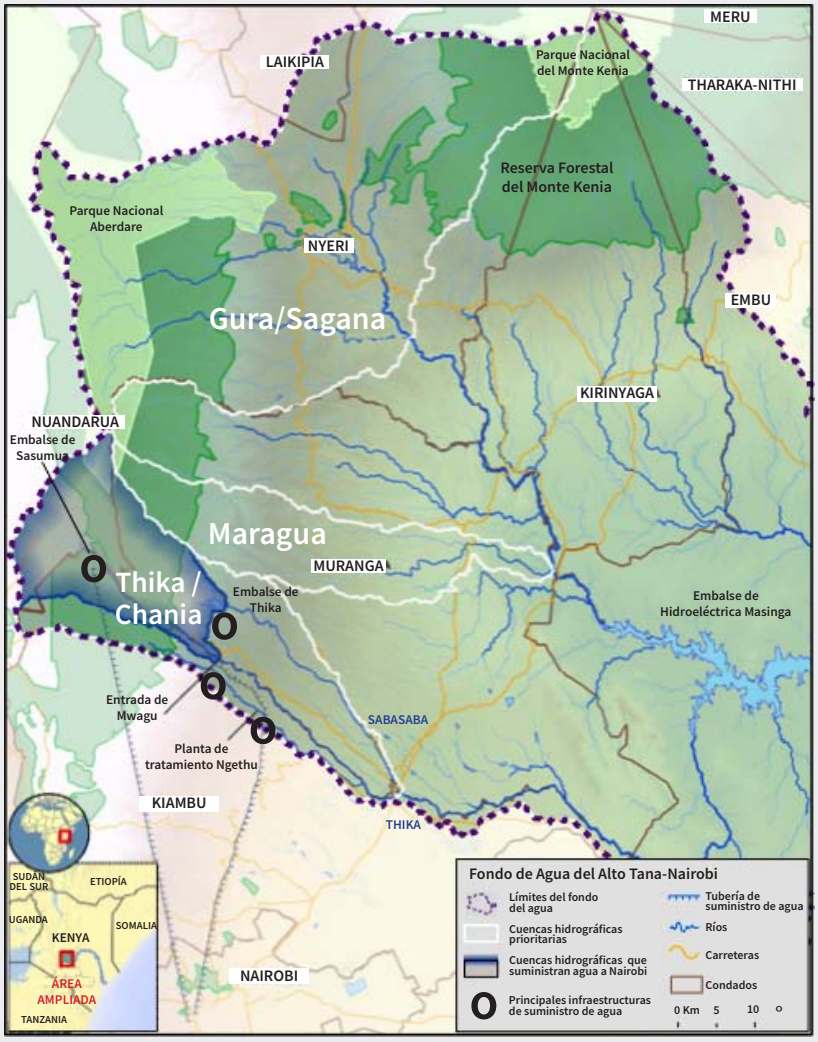
El fondo es una asociación público-privada que en los primeros cuatro años de desarrollo, pudo movilizar 4 millones de dólares a través de contribuciones voluntarias. Existen importantes patrocinadores multilaterales, incluido el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Global Environment Facility – GEF, por sus siglas en inglés), que tiene como objetivo el contribuir con 7 millones de dólares durante el transcurso de la validez del fondo. Reúne a múltiples actores, como el gobierno del condado, la autoridad de recursos hídricos, el servicio forestal, el consejo regional de gobernadores, la compañía agua de Nairobi y actores del sector privado.

El Fondo de Agua utiliza mecanismos de compensación en especie para alentar a los agricultores a adoptar mejores prácticas de gestión agrícola, restaurar zonas de amortiguación ribereñas, instalar sistemas de riego eficientes y reforestar. Estos paquetes de compensación en especie incluyen fuentes de agua, capacitación y capacitación en torno a la producción agrícola, semillas, equipos y ganado, como cabras lecheras. El Fondo se enfoca también en la reducción de sedimentos en los caminos rurales sin pavimentar. Hasta la fecha, el Fondo de Agua ha trabajado con más de 15.000 agricultores, colaborando con socios locales, incluyendo el Movimiento Cinturón Verde ("Green Belt Movement") y la Federación Nacional de Agricultores de Kenia (Abell et al., 2017).

El estudio de viabilidad del Fondo de Agua señala que una inversión de 10 millones de dólares en actuaciones de conservación impulsadas por fondos de agua tendría una rentabilidad previsible del orden de21,5 millones de dólares en beneficios económicos en un plazo de 30 años por los incrementos en la generación de energía, en los rendimientos de cultivos agrícolas para pequeños y grandes productores, y de los ahorros en agua y tratamiento de aguas residuales (TNC, 2015).

*Contribución de Simone Grego (Oficina Regional Multisectorial de la UNESCO en Abuja) y Rebecca Welling (UICN).*

**Figura | Ubicación del Fondo de Agua del UpperTana-Nairobi propuesto**




*Fuente: TNC.*

Cuadro 5.5

## EL FONDO DE CONSERVACIÓN DEL AGUA DE QUITO (FONAG)

El Fondo para la Conservación del Agua (FONAG) en Ecuador es el primero y quizás uno de los fondos de agua más exitosos en la región de LAC. Las cuencas hidrográficas que abastecen de agua a la ciudad capital de Quito están amenazadas por el manejo inadecuado en las prácticas productivas de los sectores forestal, ganadero y agrícola. Para hacer frente a esta situación, en el año 2000, la municipalidad de Quito creó el FONAG, a través de su organismo operador de agua (EPMAPS) y con la cooperación de la organización ambiental global The Nature Conservancy (TNC) (Lloret, 2009). FONAG es un fondo fiduciario diseñado para operar por un período de 80 años. Se financia mediante contribuciones de sus miembros, que incluyen a la mayoría de los grandes usuarios de agua de la zona ( compañías de agua y empresas de energía eléctrica, una cervecería, una compañía de agua embotellada, etc.). El FONAG tiene como objetivos: apoyar la conservación, restauración y preservación de las cuencas hidrográficas que proporcionan agua a Quito y sus alrededores (FONAG, n. d.). Su intervención es en forma de programas a largo plazo (comunicación, recuperación de la cubierta vegetal, gestión del agua, educación ambiental y vigilancia y monitoreo de áreas prioritarias) y proyectos a corto plazo, que van desde el apoyo a las actividades de producción con un enfoque ambiental en la investigación aplicada.

El FONAG trabaja con la participación activa de diferentes actores de la comunidad, autoridades locales y gubernamentales, las ONG e instituciones educativas.

*"FONAG tiene una dotación de más de 10 millones de dólares y un presupuesto anual de más de 1,5 millones de dolares. Como el fondo oficial de agua más antiguo, FONAG ha tenido éxito en la protección y restauración de más de 40.000 hectáreas de páramo y bosques andinos a través de una variedad de estrategias, incluido el trabajo con más de 400 familias locales. ... En lugar de realizar pagos directos por la conservación, la restauración y la agricultura sostenible, el fondo del agua utiliza una compensación en especies, como huertos familiares y apoyo para proyectos comunitarios. Además de las actividades de protección directa de las fuentes de agua, FONAG se enfoca en fortalecer las alianzas de cuenca, la educación ambiental y la comunicación para movilizar a los actores adicionales de la cuenca en la protección de la misma. El FONAG también estableció un riguroso programa de monitoreo hidrológico para comunicar y mejorar los resultados de las inversiones en colaboración con varias instituciones académicas" (Abell et al., 2017, pág.115). institutions"* (Abell et al., 2017, p. 115).

*Contribución de Andrei Jouravlev (CEPAL).*

el caso de Europa, de la Comisión Europea. Gran parte de la inversión restante (alrededor de 650 millones de dólares) fue categorizada como *"Inversiones en Cuencas Impulsadas por el Usuario"*, mediante la cual ciudades, empresas u organismos operadores de agua que actúan en representación de sus clientes, pagaban a los propietarios de tierras por la gestión de paisajes con recursos hídricos cruciales en China y Vietnam (Bennett y Ruef, 2016).

En el sector del suministro de agua potable y saneamiento en su conjunto, las SbN parecen tener un grave déficit de financiación, en comparación con la infraestructura gris. En los países de la región de LAC, las compañías de agua están invirtiendo menos del 5% de sus presupuestos en infraestructura verde (con la posible excepción de algunas ciudades de Perú), aunque estas asignaciones parecen estar en aumento (Echavarria et al., 2015; Bennett y Ruef, 2016). En Inglaterra, las actividades de gestión de cuencas generalmente representan menos del 1% del gasto de las empresas de agua. Un informe reciente estimó que 100.000 millones de libras esterlinas se gastarán en las cuencas hidrográficas en el país entre el 2015 y 2030 *"para abordar cuestiones como la provisión continua de servicios de agua y aguas residuales, calidad del agua, agricultura y en la protección contra inundaciones y mantenimiento"* de los cuales *"se gastarán más de 30.000 millones de libras esterlinas en Inglaterra para cumplir los requisitos de la Directiva Marco del Agua de la UE (DMA) y para mantener los estándares actuales de tratamiento de agua y aguas residuales"*. De estos 30.000 millones para la DMA, el informe estima que *" se evitarían entre 300 millones y 1.000 millones de libras esterlinas de costos mediante la adopción, por parte del sector hídrico, de enfoques de captación más amplios"* (Indepen, 2014, p.1). Teniendo en cuenta los beneficios colaterales más amplios para la biodiversidad, la reducción del riesgo de inundación y la gestión del carbono, que no se tuvieron en cuenta en el informe, se mejoraría aún más el argumento financiero para la gestión de cuencas.

Los casos de Inglaterra y los países de LAC sugieren que las ciudades, las empresas y las compañías de agua podrían invertir mucho más en SbN. Existe una creciente evidencia de que tales inversiones son rentables y son una sabia estrategia comercial, mientras que al mismo tiempo generan beneficios colaterales tales como la conservación de la biodiversidad, beneficios comunitarios, adaptación al cambio climático y empleos y capacitación. Evidentemente, por lo general existirá un umbral más allá del cual los gastos adicionales en la gestión de cuencas hidrológicas y las SbN dejarán de proporcionar rendimientos adecuados a las inversiones, aun cuando se incluyan los beneficios colaterales de la infraestructura verde. Sin embargo, lo mismo puede decirse de la infraestructura gris. Por lo tanto, la identificación de estos umbrales y la combinación óptima de enfoques verde-gris requiere un marco analítico común (es decir, indicadores de desempeño comunes) para evaluar el costo-beneficio de la infraestructura gris y verde en términos de la gestión del agua relevante y otros objetivos en cuestión.

El diseño e implementación del PSA para esquemas de manejo de tierras a escala de cuenca requiere establecer claramente las relaciones de causa y efecto entre las prácticas de uso del agua río arriba y la provisión de servicios de cuencas para usuarios intermedios, identificando y organizando los actores que tienen un control eficaz de estas prácticas, y llegar a un acuerdo sostenible en un mercado cambiante, así como de las condiciones políticas y sociales. Siempre está ahí la pregunta de si es apropiado premiar – y en qué medida – el cumplimiento de la ley y las buenas prácticas.

Esto a su vez requiere un marco conceptual común para evaluar el valor y los beneficios de las inversiones tanto en infraestructura verde como gris, lo que puede ser difícil, especialmente para los organismos operadores de agua y proveedores de servicios – particularmente en ciudades pequeñas y medianas– que aún no recuperan completamente los costos de la provisión del servicio y, por lo tanto, dependen de los presupuestos gubernamentales para las inversiones y, en algunos casos, incluso para la explotación y el mantenimiento. La experiencia limitada y el conocimiento de las SbN (y su sostenibilidad a largo plazo), unido a la preferencia por la infraestructura construida o "gris" por parte de muchos ingenieros y políticos, pueden plantear un desafío adicional. Con capacidades de control, monitoreo y cumplimiento extremadamente limitados para la gestión de los recursos hídricos y el control de uso del suelo, no es de extrañar que el gasto de los servicios de agua para las actividades de cuencas hidrográficas en general sea bajo, incluso cuando existe. La aceptación, el apoyo y la participación en esquemas de SbN y PSA entre un rango más amplio de actores es, por lo tanto, imprescindible, pero aún no es suficiente. Los propietarios de tierras, por ejemplo, requieren seguros de apoyo financiero a largo plazo. El sólido respaldo legal para evaluar, integrar e implementar las SbN a través de múltiples objetivos de política (agricultura, cambio climático, energía verde, etc.) puede ser igualmente crucial (Cuadro 5.6).

En términos de inversiones en el extranjero, las instituciones financieras y las empresas pueden desempeñar un papel importante e influyente en el apoyo y la financiación de los esquemas de SbN y PSA. Las entidades involucradas en inversiones en el extranjero no solo tienen la responsabilidad de cumplir con las leyes, reglamentos y estándares ambientales de los países anfitriones, sino que también deben adherirse a los Principios para la Inversión Responsable respaldados por la ONU, que incluyen tener en cuenta los factores ambientales, sociales y de gobernanza (PRI, 2006). La Iniciativa de Gestión de Riesgos Ambientales para la Inversión de China en el Extranjero., que también apoya el financiamiento comercial "verde" en la cadena de suministro, lleva estos principios un paso más allá al alentar a las instituciones financieras y empresas a *"cuantificar los costos y beneficios ambientales de los proyectos de inversión en el extranjero, incluyendo los diferentes tipos de vertido de contaminantes, consumo de energía y uso del agua, como la base para la toma de decisiones. ... Para garantizar la aplicabilidad del análisis cuantitativo, el cálculo de los costos y beneficios ambientales debe tomar en consideración factores como el nivel de desarrollo tecnológico y la situación ambiental del país anfitrión, mientras que las normas internacionales deben utilizarse como puntos de referencia cuando corresponda"* (GFC IAC/CBA/AMAC/IAMAC/CTA/FECO, 2017, página 3).

> La infraestructura urbana verde, desde la revegetación de superficies impermeables hasta los techos verdes y humedales construidos, puede dar resultados positivos en términos de disponibilidad de agua, calidad del agua y reducción de inundaciones.

## 5.3 La implementación de las SbN en áreas urbanas

La urbanización acelerada está agravando los desafíos de gestión del agua para un gran número de ciudades en la mayoría de las regiones. En la región de América Latina y el Caribe, la región más urbanizada del mundo en desarrollo, casi el 80% (2014) de la población vive en áreas urbanas, una proporción que se prevé crecerá al 86% para el 2050. Aunque Asia y África siguen siendo principalmente rurales, estas regiones experimentan las tasas de urbanización más rápidas, aumentando al 1,5% y al 1,1% anual, respectivamente (UNDESA, 2015).

La gestión de cuencas, como se describió anteriormente, ofrece una amplia gama de beneficios potenciales para estos asentamientos urbanos en crecimiento. La implementación localizada de las SbN dentro de las propias ciudades ofrece oportunidades adicionales para cumplir con múltiples objetivos de gestión del agua. En el caso de la ciudad de Nueva York, por ejemplo, se demostró que las medidas adoptadas para la mejora de la infraestructura gris con infraestructura verde fueron efectivas en función de los costos, y al mismo tiempo proporcionaron importantes beneficios colaterales (Cuadro 5.6).

La infraestructura urbana verde, desde la revegetación de superficies impermeables hasta los techos verdes y humedales construidos, puede dar resultados positivos en términos

Cuadro 5.6

## LAS SbN EN ENTORNOS URBANOS: NUEVA YORK

En la ciudad de Nueva York una variedad de enfoques basados en la naturaleza que aplican infraestructura verde se han implementado desde la década de 1990, en respuesta a las normas sobre calidad del agua, el interés público en la sostenibilidad y los paradigmas en evolución sobre la gestión del ordenamiento territorial urbano. Formalizada en 1972, la Ley de Agua Limpia (CWA, por sus siglas en inglés) establece unas normas con respecto al vertido de contaminantes en los cuerpos de agua superficiales de los EE. UU. Bajo la CWA, el vertido de contaminantes pasó a ser considerado ilegal sin antes obtener un permiso a través del programa del Sistema Nacional de Eliminación de Vertidos de Contaminantes. Las enmiendas al original de esta ley establecieron requerimientos para las ciudades como Nueva York para el desarrollo de planes a largo plazo para controlar los desbordamientos de alcantarillado combinado (CSO, por sus siglas en inglés), que se activan cuando la escorrentía urbana ingresa en el sistema de alcantarillado de la ciudad (US EPA, n.d.).

Con base en las nuevas estrategias de gestión de recursos naturales, tierras e infraestructura realizadas en el PlaNYC, el primer plan integral de sostenibilidad de la ciudad, el Departamento de Protección Ambiental de Nueva York (DEP, por sus siglas en inglés) publicó en el 2010 su Plan de Infraestructura Verde. Este plan integra los enfoques basados en la naturaleza y el tradicional "gris" para la captura y tratamiento de la escorrentía urbana (DEP, 2010). El plan se basa en cálculos de costo-efectividad, realizados en 2008 durante el desarrollo del Plan de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales de la Ciudad. Estos cálculos comparaban los enfoques verde y gris para el manejo de aguas pluviales en términos del costo de construcción por unidad volumétrica de aguas pluviales detenidas o retenidas en las instalaciones. Los costos más bajos de la infraestructura verde, en comparación con las instalaciones convencionales de retención de CSO, conducen finalmente a que la ciudad propusiera la captura de los primeros 25 mm de escorrentía generados en más del 10% de las áreas impermeables con servicio de alcantarillas combinadas con jardines de lluvia, bioswales (canaleta de filtración biológica), techos verdes, humedales construidos y otros enfoques basados en la naturaleza (The City of New York, 2008).

El Plan de Infraestructura Verde es implementado principalmente por el Departamento de Protección Ambiental de Nueva York, con fondos generados por los contribuyentes de los derechos por el suministro de agua, pero también aprovecha otras inversiones de infraestructura de capital hechas por otras agencias de la ciudad y otorga subvenciones a propietarios privados para maximizar la aplicación de la infraestructura verde en diferentes usos del suelo urbanos. Los principales desafíos para la implementación se han asociado con la ubicación apropiada de instalaciones lejos de suelos de baja permeabilidad, infraestructura subterránea y mobiliario urbano, y en el mantenimiento del rendimiento del sistema a través del tiempo.

Los sistemas de infraestructura verde de aguas pluviales financiados con fondos públicos como los Bioswales y las calles urbanas ecológicas de captación de agua de lluvia, suelen estar dimensionados para dar cabida a toda la escorrentía generada dentro de sus áreas tributarias durante aproximadamente el 90% de todos los eventos de lluvia que ocurren anualmente (p. ej., 25-30 mm de precipitación diaria). Sin embargo, el monitoreo continuo sobre el terreno sugiere que estos sistemas pueden proporcionar beneficios colaterales significativos. Se cree que la infraestructura verde mejora la biodiversidad, reduce la temperatura del aire a través del sombreado, embellece las comunidades y crea oportunidades para la custodia ecológica. Bajo ciertas condiciones, estos mismos sistemas también pueden reducir los riesgos de inundación. Utilizando cuatro años de datos de campo, De Sousa et al. (2016), determinó que una instalación de biorretención de 125 $m^2$ ubicada en una sección propensa a inundaciones de Queens en Nueva York, captura el 70, 77 y 60% de toda la escorrentía generada dentro de un área tributaria cuatro veces su tamaño durante todos los eventos (n = 92), solo los eventos no extremos (n = 78) y solo los eventos extremos (n = 14), respectivamente.

Los sistemas de infraestructura verde diseñados para recoger agua pluvial también pueden proporcionar beneficios térmicos debido al calor latente de vaporización del agua evaporada. El techo verde del Centro de Convenciones Jacob K. Javits, con 2,7 hectáreas, en Manhattan, Nueva York, es el segundo más grande en los Estados Unidos y retiene más de la mitad del evento de precipitación, que ocurre durante la temporada de cultivo, y evapora en promedio 3,2 mm de agua por día (durante el mismo período), reduciendo la intensidad de la isla de calor urbano y disminuyendo considerablemente la temperatura de su superficie exterior en comparación con un techo negro de membrana convencional (Alvizuri et al., 2017; Smalls-Mantey, 2017).

*Contribución de Franco A. Montalto (Universidad Drexel).*



*Foto por: © Felix Lipov/Shutterstock.com*

> Una ventaja clave de las SbN es también la forma en que contribuyen a desarrollar la resiliencia general del sistema

de disponibilidad de agua, calidad del agua y reducción de inundaciones, como lo ejemplifica el proyecto chino "Ciudad Esponja" (ver Cuadro 2.6).

En el contexto del agua y el saneamiento, los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales pueden ser una SbN rentable que proporcione efluentes de calidad adecuada para varios usos no potables, incluido el riego, además de ofrecer beneficios adicionales, incluida la producción de energía (Cuadro 5.7). Con más del 80% de todas las aguas residuales liberadas al medio ambiente sin ningún tratamiento previo a nivel mundial, y más del 95% en algunos países en desarrollo (WWAP, 2017), los humedales construidos pueden proporcionar grandes oportunidades para las comunidades de todos los tamaños. Tales sistemas ya existen en casi todas las regiones del mundo, incluida la región árabe (Cuadro 5.8) y África, que son relativamente comunes en el este de África.

## 5.4 Marcos regionales y nacionales para las SbN

Aunque a menudo son impulsados por actores locales, como los grandes usuarios de agua y las municipalidades, a fin de lograr resultados específicos de gestión del agua, las asociaciones y los marcos más amplios a nivel nacional y regional juegan un papel fundamental en el fomento de la implementación de las SbN, donde la legislación nacional es particularmente crucial para facilitarla y supervisarla.

La Directiva Marco del Agua de la Comisión Europea (Directiva 2000/60/CE, DMA proporciona un marco general para muchas otras actividades legislativas, de gobernanza e incluso centradas en las ONG para tomar la iniciativa. Europa está adoptando un enfoque holístico, sustentable, basado en riesgos, de captación integral. Cada vez más, esto también se ha caracterizado por la consideración del valor y el impacto en una amplia gama de servicios ecosistémicos, con el reconocimiento de la importancia de brindar múltiples beneficios y participando con los actores a nivel nacional, regional y local (Cuadro 5.9). La calidad del agua, y en particular la contaminación difusa, es un objetivo clave, a menudo relacionado con la necesidad de

**Cuadro 5.7**

### MÁS ALLÁ DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES – LA MULTIFUNCIONALIDAD DE LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS

Las aguas residuales domésticas tienen tres componentes básicos: agua, carbono y nutrientes. Estos son componentes útiles para diversos fines, como el cultivo de alimentos o la producción de bioenergía (WWAP, 2017).

Una SbN para el tratamiento de aguas residuales domésticas es el uso de humedales construidos por el hombre. Como la mayoría de los sistemas de tratamiento, están destinados a reducir la materia orgánica y los patógenos a un mínimo, pero tienen una eficacia variable cuando se trata de la reducción de nitrógeno (N) y fósforo (P). Dado que los humanos producen alrededor de 4,5 Kgde N y 0,6 Kg de P por persona y año (Mateo-Sagasta et al., 2015), los efluentes que salen de humedales construidos pueden tener niveles relativamente altos de estos nutrientes, convirtiéndolos en una fuente de agua altamente adecuada para el riego.

Los humedales construidos también se encuentran entre los ecosistemas más productivos del mundo, capaces de producir cantidades relativamente grandes de biomasa, dependiendo del tipo de planta utilizada (emergentes o helófitas, como las eneas (Typha spp.) y el carrizo (Phragmites australis)) y el clima de la ubicación (Vymazal, 2013; Zhang et al., 2014; Mekonnen et al., 2015). Esta biomasa puede cosecharse a intervalos regulares para ser utilizada como biocombustible. El valor calórico de la mayoría de estas plantas también es similar a los combustibles tradicionales como la Acacia spp. (Morrison et al., 2014). Aún menos explorado es su potencial para la producción de biogás, que muestra algunos resultados iniciales de investigación prometedores. En particular, cuando se utiliza la A. donax, también conocida como caña gigante, los rendimientos de metano superan a los del maíz o el sorgo en algunos casos (Corno et al., 2016). Se estima que alrededor del 12% de las necesidades de combustible para cocinar de un pueblo de 60 personas en el África subsahariana se puede suministrar a partir de la biomasa de un humedal artificial (Avellán et al., 2017).

El uso de estas SbN puede, por lo tanto, servir para múltiples propósitos e impactar indirectamente en otros aspectos, tales como una mayor conservación de los bosques a través de una menor dependencia de los combustibles de madera y una mayor seguridad energética.

*Contribución de Tamara Avellán (UNU-FLORES).*

Cuadro 5.8

## HUMEDALES CONSTRUIDOS EN EGIPTO Y LÍBANO

Egipto tiene un historial en el uso de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales. Un proyecto piloto puso a prueba la viabilidad de construir humedales construidos en Bilbeis, 55 Km al norte de El Cairo. Los humedales construidos dieron como resultado un efluente de aguas residuales tratadas de nivel secundario, que se utilizó para irrigar árboles de eucalipto para la fabricación de cajas de embalaje. Por lo tanto, el proyecto ha contribuido a la conservación del agua y la preservación de los recursos de agua subterránea.

Este sistema basado en la naturaleza también ha demostrado serrentable durante largos períodos de tiempo, ya que tanto los costos de construcción como los de explotación fueron más bajos que los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales. Como resultado, se decidió extender el esquema a otras áreas dentro del municipio.

El río Litani en Líbano está altamente contaminado debido al vertido de aguas residuales no tratadas generadas por las actividades agrícolas, industriales y domésticas. Las plantas de tratamiento de aguas residuales en la región no están funcionales o solo operan parcialmente. Esto ha resultado en crecientes concentraciones de nutrientes y patógenos en el río. Se diseñó un sistema de humedales construidos para tratar los flujos de agua en el río Litani y eliminar entre el 30% y el 90% de la masa de contaminantes, lo que dio lugar a una calidad de efluentes de humedales que está dentro del rango permitido por las normas ambientales internacionales. Los efluentes de agua tratada se envían a través de un canal de descarga de regreso al río Litani.[1]

*Contribución de Carol Chouchani Cherfane (CESPAO).*

[1] Evidencia proporcionada por Difaf (Líbano), basada en un proyecto respaldado por USAID.

Cuadro 5.9

## LAS SbN Y LA DMA DE LA UE: EXPERIENCIAS DE PROYECTOS PILOTO EN LA REGIÓN DEL MAR DEL NORTE

La DMA de la UE tiene como objetivo promover el uso sostenible del agua a través de la protección y la mejora de los ecosistemas acuáticos. Desde 2013, la Comisión Europea ha promovido activamente las SbN para restaurar los ecosistemas degradados a fin de garantizar la disponibilidad a largo plazo de los recursos hídricos y salvaguardar los beneficios de los ecosistemas acuáticos. Aunque la DMA respalda la aplicación de las SbN, su puesta en práctica se ve obstaculizada por la falta de pruebas, metodologías y directrices. Se necesita una base de evidencia transnacional común para justificar las inversiones y optimizar la efectividad de las soluciones SbN (CE, 2015). En 2016 y 2017, la Comisión lanzó una agenda específica de investigación e innovación y publicó convocatorias de propuestas para proyectos de demostración de SbN a gran escala para desarrollar esta base.

Las SbN han ganado impulso en varios Estados miembros. Se ha hecho hincapié en su adopción en las ciudades y específicamente para la regeneración urbana, para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y reducir el riesgo de desastres en las ciudades de la UE. El programa marco Horizonte 2020 ha sido especialmente relevante para promover una adopción más amplia de las SbN en el ámbito urbano (Faivre et al., 2017). La DMA proporciona a los países miembros un marco legislativo general compartido para el uso sostenible del agua. A pesar de los esfuerzos de los profesionales y hacedores de políticas para dar a conocer su propósito y uso, las SbN aún son desconocidas para el público en general y con frecuencia permanecen en etapas experimentales (Voulvoulis, et al., 2017). Además, difiere de un país a otro en qué medida y de qué manera se han incorporado a la legislación las SbN, y qué roles y responsabilidades se han otorgado a diferentes organizaciones para su promoción y entrega.

El proyecto Construyendo con la Naturaleza (Building with Nature), que forma parte del Programa INTERREG VB 2014-2020 para una "Región del Mar del Norte Sostenible"[1] , tiene como objetivo apoyar la implementación práctica de las SbN en cuencas hidrográficas y zonas costeras naturales de la UE a través del intercambio de resultados de prueba piloto y el desarrollo de directrices o herramientas. Algunas de las primeras conclusiones extraídas de estos pilotos son: (i) a diferencia de los sistemas infraestructurales tradicionales, el desempeño de las SbN cambia con el tiempo y depende de las condiciones físicas y ecológicas locales – en consecuencia, las SbN necesitan de un enfoque personalizado que requiere una comprensión detallada de las condiciones locales, (ii) la participación continua de las comunidades y actores locales en las fases de planificación, diseño y mantenimiento ha demostrado ser condicional para el inicio y la implementación exitosa de los programas piloto, y (iii) el monitoreo del desempeño de las SbN y la evaluación de los programas piloto en curso, son cruciales para construir la base de pruebas para apoyar una mayor aceptación. Sin embargo, todavía falta un conjunto práctico y significativo de indicadores de desempeño (Di Giovanni y Zevenbergen, 2017).

*Contribución de Chris Zevenbergen (IHE Delft).*

[1] Para mayor información, por favor ver archive.northsearegion.eu/ivb/project-ideas/ y www.northsearegion.eu/sustainable-nsr/

> En el sector del suministro de agua potable y saneamiento en su conjunto, las SbN parecen tener un grave déficit de financiación, en comparación con la infraestructura gris

mejorar el agua potable de las cuencas hidrográficas. La segunda área de enfoque principal son las inundaciones. La Directiva sobre Inundaciones de la UE promueve el potencial de las SbN para contribuir a reducir el riesgo de inundaciones a través de defensas costeras (vegetación de marismas salinas, reaprovisionamiento de playas, reordenación gestionada, etc.), así como la "gestión natural de inundaciones" de las cuencas hidrográficas rurales y los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Otra área de enfoque importante es contrarrestar la pérdida de la biodiversidad. La Estrategia de la UE sobre la Biodiversidad hasta 2020, reconoce esto y hace un llamamiento a *"integrar los servicios ecosistémicos en la toma de decisiones"* (CE, 2017b, pág.6).

Las intervenciones basadas en los ecosistemas pueden ser especialmente beneficiosas desde una perspectiva transfronteriza. Raramente tienen impactos transfronterizos negativos, en cambio pueden tener numerosos beneficios colaterales para toda la cuenca, por ejemplo, a través del mantenimiento y la mejora de los servicios ecosistémicos cruciales para los medios de subsistencia y el bienestar humano, como agua potable, regulación del agua y hábitat, oportunidades para la recreación y alimentos. La Convención sobre la Protección y Utilización de los Cursos de Agua Transfronterizos y de los Lagos Internacionales, también conocido como el "Convenio del Agua" de la CEPE, proporciona un marco jurídico e intergubernamental global para apoyar la cooperación transfronteriza en la promoción de las SbN. Todos los Estados miembros de la ONU han podido adherirse al Convenio desde marzo de 2016. El propio Convenio del Agua promueve un enfoque ecosistémico ya que obliga a las Partes a prevenir, controlar y reducir los impactos transfronterizos, garantizar la conservación y, cuando corresponda, restaurar los ecosistemas. Varias actividades basadas en los ecosistemas se han implementado bajo la Convención.

Los organismos de cuencas transfronterizas también pueden brindar oportunidades pragmáticas para promover la adopción de las SbN entre los países

## Cuadro 5.10 LAS SbN EN LA GESTIÓN DEL AGUA Y SERVICIOS DEL AGUA EN EL CONTEXTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA DMA DE LA UE: LA CUENCA DEL RIN

El Rin, uno de los ríos más grandes de Europa, experimentó una tremenda contaminación en el período de 1950-1970 y una impresionante restauración en las últimas cuatro décadas. Lo que comenzó con el desarrollo de una estrategia de monitoreo conjunto en las décadas de 1950 y 1960 bajo la Comisión Internacional para la Protección del Rin (ICPR) se convirtió en una estrategia global de gestión integrada para lograr el desarrollo sostenible, que comprende aspectos de calidad del agua, reducción de emisiones, rescate ecológico y prevención y mitigación de inundaciones.

Desde principios de la década de 1990, el trabajo de la ICPR ha desencadenado la política hídrica integrada en la UE. La gestión integrada de cuencas se desarrolló dentro de la ICPR paso a paso: La ICPR se ha venido ocupando de la reducción de la contaminación del agua desde 1950, con mejoras ecosistémicas desde 1987, cuestiones relacionadas con la cantidad de agua desde 1995 (Plan de Acción sobre Inundaciones) y cuestiones acerca de las aguas subterráneas desde 1999. Hoy en día, los enfoques transfronterizos y de cuencas para la gestión del agua y la cooperación requerida entre todos los países en una cuenca hidrográfica es una obligación europea.

La DMA de la UE ha establecido nuevos estándares en la política hídrica para los Estados miembros de la UE. Las corrientes de agua, los lagos y las aguas costeras y de transición dentro de una cuenca hidrográfica (distrito de cuenca) deben considerarse como un ecosistema, y los aspectos de protección y uso deben armonizarse en la medida de lo posible. La DMA y la Directiva de inundaciones (Directiva 2007/60/CE) establecen un plan de gestión revisado cada 6 años.

Los elementos clave de la Directiva de Inundaciones para las SbN se ilustran en la implementación de varias medidas acordadas en 1998 dentro del Plan de Acción sobre Inundaciones del Rin que se consideran como beneficios mutuos y medidas "útiles para todos" y de resultados garantizados que no solo tienen un efecto positivo en la prevención de inundaciones, sino también en la calidad del agua y la ecología. Entre ellos se encuentran medidas como la retención de agua en toda la cuenca hidrográfica, mantenimiento y/o extensión de llanuras de inundación, reubicaciones de diques, medidas de restauración, uso menos intensivo del suelo agrícola, creación de áreas de retención, etc.

*"En base a las experiencias y los logros de la ICPR, podría argumentarse que un proceso impulsado por compromisos políticos es más efectivo y flexible que un enfoque que utiliza medidas legalmente vinculantes. ... Sin embargo, se requieren ambos elementos, y el encontrar un buen equilibrio entre el compromiso político y la aplicabilidad legal, es un proceso continuo e iterativo ".* (Schulte-Wülwer-Leidig, n.d., pág. 9).

*Contribución de Anne Schulte-Wülwer-Leidig (ICPR).*

Cuadro 5.11

## EL VALOR DE LOS ACTIVOS NATURALES Y LA IMPORTANCIA DE LA COOPERACIÓN TRANSFRONTERIZA EN LA CUENCA DEL RÍO SAVA (SRB)

El Acuerdo Marco sobre la Cuenca del Río Sava, ratificado por Bosnia Herzegovina, Croacia, Serbia y Eslovenia, entró en vigor en el 2004. El objetivo principal del Acuerdo es promover el desarrollo sostenible de la región a través de la cooperación en materia de aguas transfronterizas, con objetivos particulares en relación con el establecimiento de un régimen de navegación internacional y la gestión sostenible del agua y los peligros, vinculando así el desarrollo de la navegación y la protección del medio ambiente.

La cuenca del río Sava es importante debido a su gran diversidad biológica y paisajística. Alberga los complejos más grandes de bosques de frondosas ribereñas aluviales en Europa. Una gran parte de estas llanuras aluviales aún están intactas y apoyan a la mitigación de las inundaciones y en la biodiversidad, y prestan una variedad de servicios ecosistémicos. Las grandes áreas de retención del Sava se encuentran entre los sistemas de control de inundaciones más efectivos en Europa.

Los siete sitios Ramsar en la cuenca del río Sava son reconocidos como puntos focales para el desarrollo del ecoturismo. Gestionados adecuadamente, pueden impulsar las economías locales y regionales a la vez que protegen áreas ecológicamente sensibles. Las áreas protegidas y servicios ecosistémicos de la cuenca del río Sava se integraron en el primer Plan de Gestión de la Cuenca del Río Sava (2014), cuya principal ventaja es que cumple los requisitos de la DMA, incluido el pleno reconocimiento de las SbN al abordar todos los principales problemas de gestión del agua.

La cuenca del río Sava es rica en valiosos ecosistemas dependientes del agua, tanto dentro como fuera de las fronteras de las áreas protegidas. Los vastos bosques de tierras bajas y aluviales cumplen múltiples funciones y son de importancia económica, ya que proporcionan madera valiosa, almacenan una cantidad significativa de carbono relevante para el clima y previenen la erosión del suelo. Sin embargo, si el nivel del agua subterránea disminuye, estos bosques y sus servicios ecosistémicos se deterioran. De manera similar, la excelente capacidad de retención de los humedales de llanuras aluviales proporciona una serie de beneficios a las personas, siempre y cuando tengan un régimen hídrico adecuado. El volumen de retención de los humedales del Sava es extraordinario y reduce los picos de inundación cuando los niveles de agua son altos, con grandes impactos transfronterizos positivos en el régimen de inundación. Estos humedales son también una fuente de agua durante las sequías, lo cual es de creciente importancia como resultado del cambio climático. Los humedales del Sava también purifican el agua, un beneficio que no debe subestimarse ya que las plantas de tratamiento efectivas son escasas. Estas funciones serían muy costosas de reemplazar con una infraestructura "gris". La gestión eficaz de estas áreas proporciona una solución beneficiosa para todos al alcanzar los objetivos medioambientales de la DMA así como múltiples objetivos de gestión del agua.

*Contribución de Dragana Milovanović (ISRBC).*

Cuadro 5.12

## MECANISMOS DE COMPENSACIÓN PARA LA LEY DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (PERÚ)

La Ley "Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos" 2014 de Perú, es el primer marco regulatorio a nivel nacional específico para la inversión en infraestructura verde en el sector de agua potable y saneamiento en América Latina. El objetivo principal de esta ley es promover, regular y monitorear los mecanismos de remuneración por servicios ecosistémicos, que se definen como sistemas, instrumentos e incentivos para generar, canalizar, transferir e invertir recursos económicos, cuando los administradores de los ecosistemas conciertan un acuerdo con aquellos que pagan por sus servicios, o por la conservación, rehabilitación y uso sostenible de las fuentes de estos servicios (CEPAL, 2015). El objetivo de los mecanismos de remuneración es garantizar que los beneficios generados por los ecosistemas perduren en el futuro. Según esta ley, los administradores de los servicios ecosistémicos pueden recibir una remuneración que depende de la implementación de medidas para la conservación, rehabilitación y uso sostenible de las fuentes de los servicios ecosistémicos. Esto puede ser la conservación de áreas naturales, la rehabilitación de un área que ha sufrido daño o degradación ambiental, o medidas para cambiar las fuentes de los servicios ecosistémicos a un uso sostenible. En la actualidad, 12 ciudades ya han aprobado tarifas que incluyen inversiones en cuencas (Bennett y Ruef, 2016).

Cuadro 5.13

## LAS EVALUACIONES HOLÍSTICAS Y CUANTITATIVAS QUE PERMITEN OPCIONES COMPARABLES DE INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA PUEDEN FAVORECER A LAS SbN

La Estrategia Nacional de Recursos Hídricos de Sudáfrica 2013 considera explícitamente la infraestructura ecológica y artificial como elementos de apoyo mutuo de un enfoque integrado para la gestión del agua. Sin embargo, la inversión en infraestructura ecológica requiere una comprensión profunda de cómo, cuándo y dónde la sociedad obtiene los mayores beneficios del ciclo hidrológico y los servicios proporcionados por las áreas de captación. Para obtener una mejor información cuantitativa sobre el desempeño de varias opciones, se compararon dos opciones de infraestructura ecológica (eliminación de grandes extensiones de plantas invasoras, plantación de árboles y rehabilitación de pastizales y bosques autóctonos) con el rendimiento de la infraestructura gris en y entre dos cuencas hidrográficas en Sudáfrica.

La inversión anterior se había centrado en la rehabilitación de matorrales subtropicales autóctonos en laderas desnudas a causa del pastoreo de ganado. El aumento de la cobertura vegetal en una cuenca hidrográfica puede reducir el suministro de agua promedio anual debido al aumento de la evaporación. Sin embargo, las observaciones a escala de parcela demostraron que la rehabilitación del matorral aumenta la interceptación del dosel, la infiltración y conductividad del suelo y la retención de humedad del suelo, y también puede tener importantes impactos deseados aguas abajo, como la disminución de las intensidades de las inundaciones, un flujo de base potencialmente mayor, y por lo tanto flujos más sostenibles, confiables y valiosos durante la estación seca. La rehabilitación de matorrales en laderas degradadas puede reducir la escorrentía superficial a la mitad y la pérdida de sedimentos en pendiente ascendente hasta seis veces, lo que indica que hay importantes ganancias hidrológicas que se pueden lograr a través de intervenciones específicas para rehabilitar, mantener y proteger la infraestructura ecológica prioritaria.

La metodología para tratar de obtener información cuantitativa para comparar las opciones, utilizó los Valores Unitarios de Referencia para los costos económicos del aumento cuantificado del suministro de agua. Estos variaron de ZAR 1.17 a R2.50 para la infraestructura ecológica, dependiendo de las medidas de rehabilitación elegidas y su ubicación, en comparación con los costos ZAR 0.46 - R3.79 para las presas existentes, pero para la nueva infraestructura gris alternativa para aumentar el suministro el resultado fue ZAR 4.56-R9.01. Se lograron avances significativos en el suministro de agua a través de la infraestructura ecológica y, lo que es más importante, los aumentos en el flujo base contribuyeron a un suministro más valioso en la estación seca.

Lo anterior solo evaluó los beneficios de invertir en infraestructura ecológica en términos de suministro de agua (cantidad) y cargas reducidas de sedimentos. Una ventaja importante de la rehabilitación y protección de los ecosistemas en funcionamiento son los múltiples beneficios adicionales que proporcionan los ecosistemas en comparación con las instalaciones de infraestructura construida para un solo propósito. Mejorar la infraestructura ecológica también puede mejorar la calidad del agua, los servicios de polinización a tierras de cultivo adyacentes, los valores de pastoreo y el acceso a plantas medicinales, y a la par de reducir la intensidad y los daños de las inundaciones, eliminar el dióxido de carbono de la atmósfera, incrementar la productividad del ganado y animales de caza, brindar oportunidades de ecoturismo y mejorar los espacios culturales.

Las evaluaciones a detalle emprendidas, utilizando comparaciones hidrológicas y económicas consistentes entre las opciones de inversión en infraestructura de recursos hídricos, muestran que la rehabilitación de la infraestructura ecológica podría mejorar la seguridad hídrica, apoyar la construcción de infraestructura y simultáneamente ofrecer otros beneficios, incluido el potencial de creación de empleo que aún no se ha materializado y que es financieramente viable y rentable.

*Fuente: Mander et al. (2017).*

ribereños. La Comisión Internacional para la Protección del Rin (ICPR, por sus siglas en inglés), que precedió a la DMA por décadas, ya tenía a las SbN en el centro de las actividades y programas que han sido implementados por sus estados miembros (Cuadro 5.10).

Desde su inicio, la DMA ha estimulado el establecimiento de organismos de cuencas transfronterizas más recientes dentro de las cuales las SbN juegan un papel central. La cuenca del río Sava, en Europa sudoriental, es uno de esos ejemplos, donde la implementación de las SbN también genera varios beneficios colaterales a través de los servicios ecosistémicos, desde la mitigación de inundaciones y protección de la biodiversidad hasta el crecimiento económico relacionado con ecoturismo y navegación mejorada. (Cuadro 5.11).

También hay ejemplos de marcos normativos que promueven las SbN a nivel nacional, como lo ejemplifica la experiencia en Perú (Cuadro 5.12), donde se adoptó un marco legal nacional para regular y monitorear la inversión en infraestructura verde.

Una ventaja clave de las SbN es también la forma en que contribuyen a desarrollar la resiliencia general del sistema. Las evaluaciones de los rendimientos de las inversiones en SbN a menudo no tienen en cuenta estas externalidades positivas, al igual que las de la infraestructura gris rara vez

toman en cuenta las externalidades ambientales y sociales negativas. De hecho, la infraestructura construida para un solo propósito para el suministro de agua en un lugar puede incluso provocar una pérdida de suministro o calidad en otros lugares vinculados hidrológicamente, como se ha visto con la Presa de las Tres Gargantas de China (Zhang et al., 2014).

La implementación a gran escala a nivel nacional de las SbN como parte de un marco de política más amplio para lograr un objetivo específico de gestión del agua – en este caso, la gestión de inundaciones – con objetivos complementarios como la planificación espacial y la protección del medio ambiente, se ejemplifica en el programa de los Países Bajos "Espacio para el río" (Room for the River), celebrado en el 2009 con un presupuesto 2.500 millones de euros, diseñado para restaurar las llanuras aluviales naturales de los ríos (una SbN) a lo largo de ciertos tramos no vulnerables, desviar ríos y crear áreas de almacenamiento de agua, para proteger las áreas ribereñas más desarrolladas. Los humedales restaurados proporcionaron almacenamiento adicional y salvaguardaron la biodiversidad, a la vez que mejoraron las oportunidades estéticas y recreativas.

El programa también sirve como ejemplo de "gobernanza multinivel", que se basa en la estrecha colaboración entre las autoridades nacionales y locales durante las etapas de planificación e implementación de los proyectos (Room for the River, n.d.a., n.d.b.).

Las SbN brindan un mecanismo para realizar enfoques participativos para el agua y la gestión de los usos del suelo, facilitando el intercambio de información y, en algunos casos, aprovechando los conocimientos tradicionales y los enfoques históricamente probados de gestión de recursos naturales (por ejemplo, cuadros 5.1 y 5.5). Pueden contribuir a formalizar y activar asociaciones entre grupos dispares a nivel de la comunidad, incluidos el gobierno nacional y local, los actores locales y las organizaciones comunitarias, el sector privado y las agencias donantes, empoderando así a los miembros de la comunidad para implementar, monitorear e informar sobre las inversiones, los éxitos y las lecciones aprendidas.

A pesar de que muchos marcos relevantes exigen o permiten que las SbN se tomen en cuenta, las decisiones finales a menudo dependerán de una consideración más detallada de los costos y beneficios de las diversas opciones. Una característica notable del reciente desarrollo en el ámbito legal, regulatorio, y de marco es su énfasis (ya sea por mandato legal o no) de que todos los beneficios, y no solo un conjunto limitado de resultados hidrológicos, deben tenerse en cuenta en la evaluación de las opciones de inversión. Esto requiere un enfoque sistemático detallado para evaluar los costos y beneficios, lo cual es posible y conducirá a una mejor toma de decisiones y al rendimiento general del sistema (Cuadro 5.13).



Edificio de bosque vertical en Milán (Italia)

# 6 POSIBILITAR LA INCORPORACIÓN ACELERADA DE LAS SbN



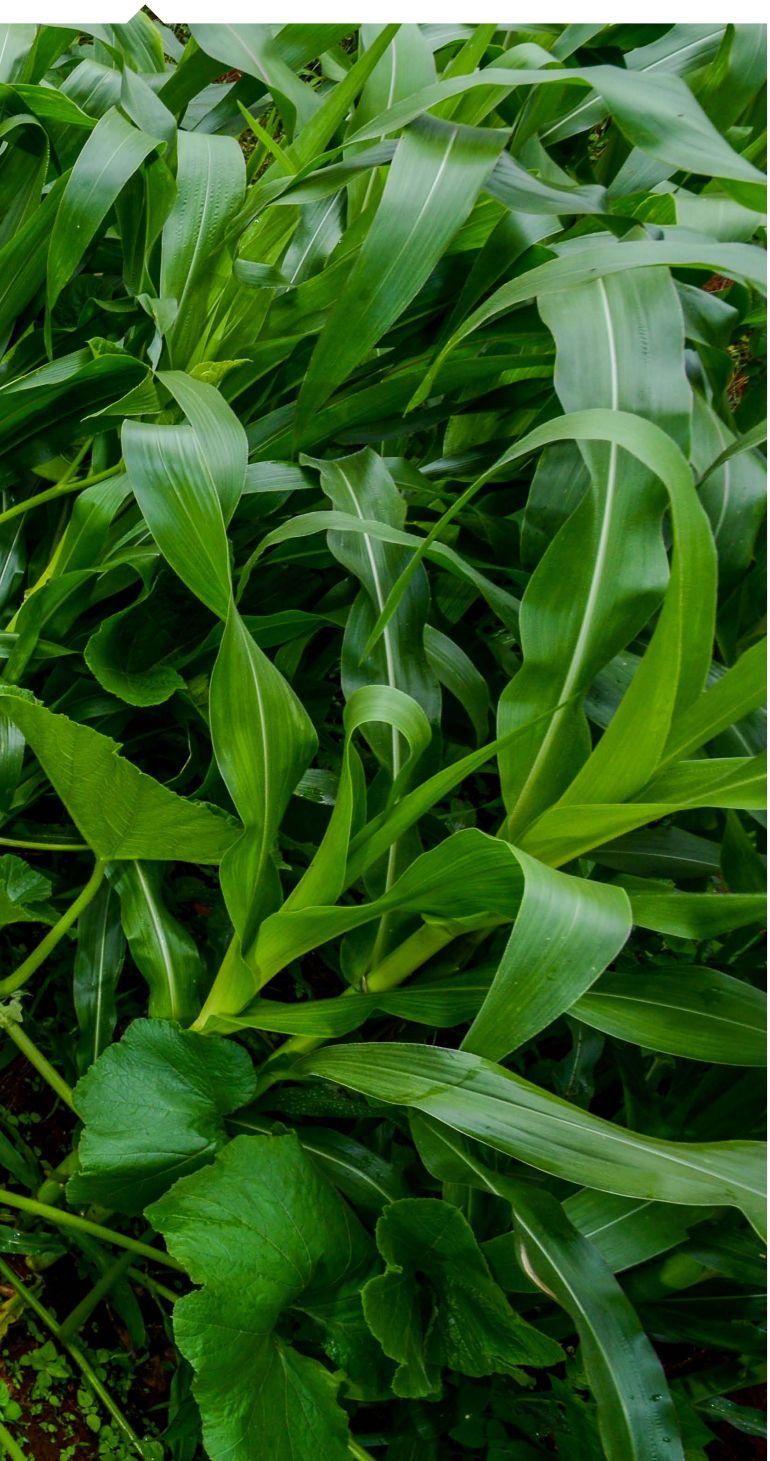
**PNUD-SIWI WGF** | Josh Weinberg

**PNUD** | Marianne Kjellén

**WWAP** | David Coates

**Con contribuciones de:**[14] Florian Thevenon y Lenka Kruckova (WaterLex); Christopher Raymond (Universidad agrícola sueca); John H. Matthews (AGWA); Tatiana Fedotova (WBCSD); Maria Teresa Gutierrez (OIT); Håkan Tropp y Sofia Widforss (SIWI); y Aida Karazhanova (CESPAP)

Recopilación de datos de agua de lluvia en la cuenca del río Tana (Kenia)



## 6.1 Introducción

Este capítulo evalúa los desafíos para implementar las SbN que las limitan a alcanzar su máximo potencial para contribuir al manejo sostenible del agua. Estos desafíos se consideraron al preparar los capítulos 2 a 5 de este informe y eran bastante coherentes entre sí. En consecuencia, la información de esos capítulos se amalgama en este capítulo junto con la información de otras revisiones del tema, incluidos Davis et al. (2015), Bennett y Ruef (2016) y otras fuentes como se menciona a continuación. Estos desafíos son globales/genéricos, específicos de la región y basados en el lugar, y a menudo aplicables a las SbN en general. Incluyen:

- Predominio absoluto de las soluciones de infraestructura gris para la gestión del agua en los instrumentos actuales de gobernanza. Este predominio también existe en la orientación de los mercados económicos, la experiencia de los proveedores de servicios y, consecuentemente, en la mente de los hacedores de políticas y el público en general. Estos factores colectivamente resultan en una inercia general contra el desarrollo y uso y predisposición en contra de las SbN, que a menudo se perciben como menos eficientes que los sistemas artificiales (grises). El desequilibrio es significativo. Por ejemplo, aunque las cifras exactas no están disponibles, los datos presentados en el Capítulo 5 sugieren que, a pesar de las mayores asignaciones a las SbN en ciertos países y regiones, las inversiones directas actuales en ellas, parecen ser menos del 1% (a nivel global), y probablemente más cerca del orden de solo el 0,1% de la inversión total en infraestructura y gestión de recursos hídricos.
- Falta de concienciación, comunicación y conocimiento de lo que las SbN realmente pueden ofrecer para reducir los riesgos de variabilidad del agua y mejorar su calidad

[14] Los autores también desean agradecer a Penny Stock, Lisa Farroway y Saskia Marijnissen del PNUD, y Neil Coles de la Universidad de Leeds por sus comentarios.

> Las SbN no necesariamente requieren recursos financieros adicionales, pero generalmente implican redirigir y hacer un uso más eficaz del financiamiento existente

y disponibilidad, en comparación con las soluciones grises "convencionales", en todos los niveles, desde las comunidades hasta los planificadores regionales y los hacedores de políticas nacionales.

- Una falta de comprensión de las maneras de integrar la infraestructura verde y gris a escala, y una falta general de capacidad para implementar las SbN en el contexto del agua.
- Mitos y/o incertidumbre sobre cómo funciona la infraestructura natural y qué significan los servicios ecosistémicos en términos prácticos.
- Dificultades para proporcionar evaluaciones claras del desempeño de los proyectos relacionados con las SbN. Tampoco está del todo claro, a veces, qué constituye una SbN y qué es una solución híbrida. Hay una falta de herramientas, enfoques y directrices técnicas, para determinar la combinación correcta de las opciones de SbN y de infraestructura gris.
- También existe una cuestión de suelo utilizada por algunas SbN y la probabilidad de tensión y posible conflicto con los usos del suelo alternativos, aunque la infraestructura gris a menudo también es consumidora de suelo directamente o puede tener impactos adversos indirectos sobre el mismo, y algunas SbN requieren proporciones insignificantes (estimadas) de un área de cuenca fluvial para lograr efectos en toda la cuenca. Esto también requiere de la participación de muchos actores, como los propietarios de tierras independientes, que pueden aumentar la complejidad de la implementación.

Las respuestas necesarias a los desafíos identificados implican esencialmente la creación de condiciones propicias adecuadas para que las SbN se consideren equitativamente junto con otras opciones para la gestión de los recursos hídricos. Entre las áreas interrelacionadas donde las condiciones propicias deben mejorarse se incluyen el financiamiento, el entorno regulatorio y legal, la colaboración intersectorial, incluidas las políticas de armonización en todas las áreas de desarrollo, y la base de conocimientos que las sustentan. Su implementación deberá ajustarse a las estructuras de gobernanza existentes (o recientemente adaptadas) de las ubicaciones donde se implementan. Se necesitan entornos habilitantes fuertes, con políticas, planes y financiamiento de apoyo. Los marcos legales y regulatorios deben ser de apoyo o al menos neutrales para permitir la adopción promisoria de las SbN. Los marcos nacionales ya pueden tener disposiciones que alientan enfoques basados en los ecosistemas o acciones sostenibles que pueden respaldar una mayor implementación de las SbN. La cooperación intersectorial (por ejemplo, entre ministerios) es esencial para la implementación de la mayoría de las SbN a cualquier escala. Una base de conocimiento mejorada, y en algunos casos una base científica más sólida, es un requisito importante en la mayoría de las áreas. El conocimiento debe traducirse y diseminarse en una forma apropiada para el usuario: por ejemplo, directrices que permitan interpretaciones específicas de las SbN en la aplicación de las regulaciones existentes. El desarrollo de políticas nuevas o reformadas, regulaciones y planes existentes pueden contribuir al progreso de este proceso.

## 6.2 Aprovechamiento del financiamiento

Las SbN no necesariamente requieren recursos financieros adicionales, pero generalmente implican redirigir y hacer un uso más eficaz del financiamiento existente. Se estima que se necesitarán aproximadamente 10 billones de dólares en infraestructura de recursos hídricos entre 2013 y 2030 (Dobbs et al., 2013). Por lo tanto, una cuestión clave es cómo pueden contribuir las SbN a reducir esta carga de inversión a través de una mayor eficiencia económica, ambiental y social en los resultados de inversión. Sin embargo, hay indicios de un aumento de las inversiones en las SbN (ver Sección 5.2.2). Por ejemplo, se invirtieron aproximadamente 25.000 millones de dólares en infraestructura verde para el agua en todo el mundo en 2015, con un aumento anual estimado en la inversión de más del 11% con respecto al año anterior (Bennett y Ruef, 2016). Un desencadenante de este progreso es el creciente reconocimiento de que la implementación de enfoques basados en la naturaleza puede crear soluciones para todo el sistema al optimizar la generación de servicios ecosistémicos para hacer que las inversiones sean más sostenibles y rentables a la larga. Así pues, como se demostró en capítulos anteriores, existe un interés creciente por parte de las comunidades científicas, políticas y financieras para refinar el conocimiento sobre cómo diseñar las SbN y aumentar el capital de inversión para ponerlas en marcha. Un ingrediente esencial para lograr este resultado será: enfoques de financiación mejorados, más holísticos e innovadores.

Davis et al. (2015) señaló una falta de mecanismos de financiamiento específicos para la inversión en las SbN. Sin embargo, se está creando una diversidad de instrumentos y enfoques financieros para realizar inversiones en SbN que aporten valor a la sociedad. En el Capítulo 5, se presentaron varios ejemplos de enfoques de financiamiento basados en pagos por servicios de cuencas. Bennett y Ruef (2016)

Cuadro 6.1

## FINANCIAMIENTO DE LA RESILIENCIA DEL AGUA: SURGIMIENTO DE BONOS VERDES Y CLIMÁTICOS PARA EL AGUA

En 2007, el Banco Europeo de Inversiones y el Banco Mundial comenzaron a emitir "bonos verdes" (que también se conocen como "bonos climáticos") como un mecanismo de préstamo para demostrar las ventajas económicas de las inversiones y los activos positivos para el medio ambiente. Un "bono verde" es diferente de un bono regular en el sentido de un compromiso de utilizar los fondos recaudados exclusivamente para financiar o refinanciar proyectos, activos o actividades comerciales que son beneficiosos para el medio ambiente (ICMA, 2015), mientras que un bono climático se refiere más específicamente a un activo o proyecto que tiene un enfoque de mitigación o adaptación al cambio climático. Muchos proyectos de infraestructura hídrica a nivel nacional y subnacional se financian a través de bonos. En el mundo desarrollado, los bonos únicos para entidades como los operadores de agua urbanos pueden ascender fácilmente a varios cientos de millones de dólares estadounidenses.

Como categoría de inversión, los bonos verdes y climáticos se mantuvieron relativamente como nichos de mercado, con un impacto limitado hasta alrededor del 2013. Ese año, las emisiones se triplicaron a alrededor de 10.000 millones de dólares después de que las instituciones financieras y comerciales comenzaron a promover el mercado. Estas tendencias se aceleraron en el 2014 (35.000 millones de dólares) y pasaron los 80.000 millones de dólares en el 2016, lo que parece favorable a la luz de la convocatoria de la CMNUCC del Acuerdo de París para alcanzar los 100.000 millones de dólares para el financiamiento climático para el 2020 (CBI, 2017). Si bien el grupo de mercado ha crecido rápidamente, la mayoría de los bonos se ofrecieron inicialmente con pruebas limitadas de garantías. Además, la sensibilidad de las inversiones relacionadas con el agua a los impactos climáticos puso de relieve la necesidad de que estas inversiones demuestren robustez y eficacia en la adaptación climática.

En el 2014, un grupo de ONG — Ceres, la CBI, el Instituto de Recursos Mundiales, el CD[1], el Instituto Internacional del Agua de Estocolmo (SIWI, por sus siglas en inglés) y la Alianza para la Adaptación Global del Agua (AGWA, por sus siglas en inglés) organizaron una serie de grupos de trabajo técnicos e industriales que definieron criterios de calificación para emisores y verificadores con el fin de brindar confianza al inversionista en el mercado climático y de bonos verdes, recurriendo al apoyo de más de cien expertos en ecosistemas acuáticos, ingeniería, gobernanza, economía ambiental e hidrología. Estos criterios evalúan el potencial de estos bonos para la adaptación climática, además de su impacto ambiental sobre la base de la evidencia y la ciencia más recientes para evaluar soluciones de gestión de agua sólidas y flexibles (Walton, 2016).

La primera fase del trabajo se centró en las inversiones de infraestructura hídrica tradicional o "gris", con la exclusión de la energía hidroeléctrica, mientras que la segunda fase (que se espera se complete en diciembre de 2017) se centró en el uso de las SbN y en los criterios hidroeléctricos. En muchos sentidos, estos criterios contribuyen a unir las brechas de conocimiento y concienciación entre la comunidad técnica de gestión del agua y las audiencias de finanzas e inversores. Como tal, los criterios sirven como una poderosa herramienta de comunicación sobre los problemas relacionados con la resiliencia y los activos hídricos (Michell, 2016). La exitosa emisión en 2016 del primer bono registrado contra la norma representa una clara transición en la concienciación del inversionista,[2] con las reacciones dramáticas de la prensa de finanzas para el desarrollo, inversionistas y de gestión del agua (Lubber, 2016), así como de las principales instituciones públicas (p. ej., la promoción de los EE. UU. de la norma de la CBI para el Día Mundial del Agua de 2016[3]). En el plazo de un año desde la finalización de los criterios de la fase 1, se emitieron más de 1.000 millones de dólares contra la norma, incluida la primera emisión africana de Ciudad del Cabo, con una puntuación respaldada por la KPMG. La norma ha recorrido cierta distancia para cerrar las brechas entre las comunidades de cambio climático, agua y finanzas.

*Contribución de John H. Matthews (AGWA).*

[1] Anteriormente conocido como Carbon Disclosure Project
[2] www.waterworld.com/articles/2016/05/san-francisco-public-utilities-commission-issues-world-s-first-certified-ggeen-bond-for-water-infrastructure.html
[3] www.ooskanews.com/story/2016/03/agwa-presents-two-new-initiatives-white-house-water-summit_170615

determinaron que la inversión en cuencas se realiza predominantemente a nivel local, y casi el 90% de esas inversiones proviene de programas gubernamentales para subvencionar directamente a los propietarios con pagos para tomar medidas de protección de cuencas. Un mercado emergente de "bonos verdes " muestra un potencial prometedor para movilizar el financiamiento de las SbN y, en particular, demuestra que pueden tener un buen desempeño cuando se evalúan según criterios de desempeño de inversión estandarizados rigurosos (Cuadro 6.1). En este ámbito, la *Iniciativa de Bonos Climáticos* (*CBI*, por sus siglas en inglés[15] señaló que los mercados globales de bonos verdes y climáticos podrían tener un papel más amplio para influir, capacitar y ayudar a estimular el capital privado para invertir en las SbN e infraestructura verde. El mejorar la comprensión dentro del sector financiero de las formas de ejecutar esto, sigue siendo un desafío crítico, pero hay evidencia de que se está produciendo un cambio en este sentido.

[15] El CBI es una organización internacional sin fines de lucro enfocada en los inversionistas. Consulte: www.climatebonds.net/about.

El sector privado también puede ser estimulado y guiado para promover las SbN en las áreas en las que operan. Las empresas están cada vez más interesadas en invertir en el capital natural y las SbN impulsadas por un convincente estudio de viabilidad. Los impulsores de negocio para las SbN incluyen las limitaciones de recursos, los requerimientos regulatorios, el clima cambiante y fenómenos meteorológicos severos, las inquietudes de los actores, beneficios financieros directos, y ganancias operativas, financieras y de reputación derivadas de los beneficios colaterales ambientales y sociales (WBCSD, 2015a). Las SbN reconocen los ecosistemas como capital natural, que el *Protocolo del Capital Natural*[16] define como el conjunto de recursos naturales renovables y no renovables (plantas, animales, aire, agua, suelo y minerales) que se combinan para dar lugar a beneficios para las personas. El *Protocolo del Capital Natural* proporciona un método estandarizado pero personalizable, utilizado por numerosas empresas en todo el mundo para medir, valorar e integrar el capital natural en los procesos comerciales con el fin de ayudarlas a desarrollar estrategias y planes de inversión y acción. Sin embargo, las empresas a menudo carecen de experiencia interna y, a veces, ni siquiera conocen las SbN ni la eficacia de dichas soluciones. Para superar esas barreras, las empresas pueden capacitar a su personal, ya sea conjuntamente con una organización independiente o utilizando guías dirigidas a las empresas.

Por ejemplo, el curso de capacitación sobre I*nfraestructura Natural para los Negocios*[17] desarrollado por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y con el apoyo de Wetlands International, Arcadis y Shell, es un recurso útil y de libre acceso derivado de la experiencia comercial concreta al trabajar con las SbN. Las empresas también pueden desarrollar un marco organizativo para SbN que se pueda aplicar en diferentes funciones de negocio (p. ej., operaciones, finanzas, relaciones con inversionistas, etc.) para identificar cómo pueden contribuir a las SbN. Esto puede ayudar a facilitar el entendimiento entre las funciones de las SbN y su potencial valor agregado, incluidos los beneficios financieros directos. Los negocios también pueden ampliar las alianzas para desarrollar conjuntamente las SbN. La colaboración con comunidades vecinas y ONG, puede ayudar a las empresas a asegurar su licencia social para operar y multiplicar los beneficios colaterales sociales y ambientales que pueden derivarse de las SbN.

El *Mecanismo de Financiación de Capital Natural* es un instrumento financiero que combina la financiación del Banco Europeo de Inversiones y los fondos de la Comisión Europea en el marco del Programa LIFE, el instrumento financiero de la UE para el medio ambiente y la acción por el clima. El Mecanismo brinda apoyo financiero a los proyectos enfocados en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que generan ingresos o ahorran costos. Al hacerlo, el Mecanismo tiene como objetivo convencer al mercado y a los inversionistas potenciales del atractivo de las operaciones de biodiversidad y adaptación climática para promover inversiones sostenibles del sector privado.

La mejora de los métodos de valoración de ecosistemas y recursos naturales proporciona las herramientas necesarias para incorporar las SbN en la toma de decisiones. Por ejemplo, el enfoque de la Iniciativa: *Contabilidad de la Riqueza y la Valoración de los Servicios Ecosistémicos* (WAVES, por sus siglas en inglés) ofrece decisiones mejor informadas con respecto a la infraestructura y la regulación de la calidad y cantidad del agua en los sistemas contables nacionales (Banco Mundial, n.d.).

La agricultura representa un área importante para financiar una mayor adopción de las SbN. Sin embargo, es difícil evaluar las inversiones actuales y potenciales, ya que generalmente son parte integrante de inversiones más amplias para mejorar la sostenibilidad agrícola. En su conjunto, solo los países de la OCDE transfirieron un promedio anual de 601.000 millones de dólares a los productores agrícolas en el período del 2012 al 2014 y gastaron 135.000 millones de dólares adicionales en servicios generales que respaldan el funcionamiento general del sector. Algunas grandes economías emergentes han comenzado a alcanzar el nivel promedio de apoyo brindado por los países de la OCDE (OCDE, 2015b). Sin embargo, la gran mayoría de las subvenciones agrícolas, y probablemente la mayoría del financiamiento público y casi todas las inversiones del sector privado para investigación y desarrollo agrícola, apoyan la intensificación agrícola convencional que aumenta la inseguridad hídrica (FAO, 2011b). La incorporación del concepto de intensificación ecológica sostenible de la producción agrícola, que implica esencialmente la aplicación de las SbN (técnicas mejoradas de gestión del suelo y del paisaje), no solo es el camino reconocido para lograr la seguridad alimentaria (FAO, 2014a), sino que también sería un importante avanzar en la financiación de las SbN.

Las finanzas pueden hacer más que canalizar simplemente las inversiones. También pueden guiar el desarrollo del proyecto hacia las SbN financiables y adecuadas. Los gobiernos brindan regularmente orientación a los fondos estatales de inversión, los fondos de riqueza soberana e instrumentos similares para crear filtros de inversión que respalden una economía sostenible. Lo mismo puede aplicarse a las inversiones verdes. Al establecer los mandatos verdes, los hacedores de políticas dan indicación a los emisores de bonos de que existe una demanda sólida para la emisión de bonos verdes (CBI, n.d.). Las experiencias del mercado y los instrumentos combinados con bonos verdes pueden ser útiles para otros actores del sector financiero para unirse o replicarse en todo el mundo, por lo que se convierten ellos mismos en proyectos pilotos, probando diferentes opciones de herramientas de inversión que pueden respaldar eficazmente las SbN en diferentes

[16] El CBI es una organización internacional sin fines de lucro enfocada en los inversionistas. Consulte: www.climatebonds.net/about.

[17] Para obtener más información sobre el Capital Natural y el Protocolo del Capital Natural, consulte: naturalcapitalcoalition.org/protocol/.

> Un mercado emergente de "bonos verdes " muestra un potencial prometedor para movilizar el financiamiento de las SbN y, en particular, demuestra que pueden tener un buen desempeño cuando se evalúan según criterios de desempeño de inversión estandarizados rigurosos

escenarios. La coordinación adicional, el intercambio de conocimientos y el desarrollo conjunto de estándares similares entre los bonos verdes o de otro tipo repercuten de manera muy positiva en la aceleración de los flujos de capital financiero disponible en las SbN y probablemente hagan que esas inversiones proporcionen mejores rendimientos y mayor valor para la sociedad.

La evaluación de los beneficios colaterales de las SbN (a través de un análisis de costo-beneficio más holístico) es un paso fundamental para lograr inversiones eficaces y aprovechar los recursos financieros en múltiples sectores. Por ejemplo, las SbN son una solución clave para cubrir las deficiencias en las necesidades proyectadas para el financiamiento de la conservación de la biodiversidad mediante la reorientación de las inversiones existentes, particularmente en la infraestructura de gestión del agua y el desarrollo agrícola (PNUD/BIOFIN, 2016). Todos los beneficios, no solo un conjunto limitado de resultados hidrológicos, deben incluirse en la evaluación de las opciones de inversión. Esto requiere un enfoque sistemático detallado, pero conducirá a mejoras significativas en la toma de decisiones y el rendimiento general del sistema. Por ejemplo, Mander et al. (2017) proporcionan una herramienta o metodología útil para valoraciones más holísticas de resultados hidrológicos y otras opciones de inversión que pueden beneficiar enormemente las elecciones de inversión, mostrando que los beneficios colaterales de las SbN pueden a menudo inclinar las decisiones de inversión a su favor (ver Cuadro 5.13).

Sin embargo, todavía existe una brecha considerable entre la forma en que las comunidades comerciales y financieras evalúan la importancia del apoyo a la inversión inteligente en las SbN y su capacidad actual para movilizar la inversión en proyectos concretos y la planificación del desarrollo (CBI, 2017). Un enorme desafío, visto a todas las escalas (nacional, regional y mundial), representa la brecha entre el capital potencial disponible para la inversión y los proyectos financiables respaldados por organismos de implementación capaces de realizarlos. Esto es a menudo parcialmente el resultado de una falta de coincidencia del conocimiento y la capacidad entre los grupos de actores – aquellos con conocimiento técnico sobre las SbN a menudo no tienen el conocimiento sobre el financiamiento disponible y los requisitos para accederlo, y viceversa, los especialistas en finanzas a menudo no reconocen o aprecian las SbN. Sin duda, la comunicación mejorada entre estos dos grupos será clave para acelerar el progreso.

## 6.3 Posibilitar el entorno regulatorio y jurídico

### 6.3.1 Normativas y marcos nacionales y regionales

Davis et al. (2015) señaló que los entornos regulatorios y jurídicos actuales para el agua se desarrollaron en gran medida teniendo en cuenta los enfoques de la infraestructura gris. Es por ello que a menudo resultan un desafío para adaptar las SbN en este marco. Es por ello que, para lograr el progreso en la utilización total de las SbN, se requiere que los gobiernos evalúen, y cuando sea necesario modifiquen, sus regímenes jurídicos y regulatorios para eliminar las barreras a la incorporación de las SbN. La ciudad de Basilea en Suiza ha desarrollado la mayor área de techos verdes per cápita en el mundo, mediante la inversión en programas de incentivos para proporcionar subvenciones para su instalación, y extendió esto al aprobar una Ley de Construcción que requiere techos verdes en todos los nuevos desarrollos con cubiertas planas, incluida una enmienda que estipula directrices de diseño asociadas para maximizar su contribución a la biodiversidad (Kazmierczak y Carter, 2010; EEA, 2016).

Probablemente no sean necesarios cambios drásticos en los regímenes normativos y se pueda lograr mucho promoviendo las SbN de manera más eficaz a través de los marcos existentes. Por ejemplo, la Comisión Europea adoptó en 2013 la *Estrategia de Infraestructura Verde (*CE, 2013b) para promover el desarrollo de la infraestructura verde en las zonas rurales y urbanas de la UE.

En los lugares donde aún no existe legislación habilitadora, el identificar dónde y cómo las SbN pueden respaldar los enfoques de planificación existentes en diferentes niveles puede ser un primer paso importante para este proceso. La Comisión Europea elaboró un documento de política sobre *"Medidas de retención natural del agua"* (CE, 2014), que destaca tanto su potencial contribución a la implementación de directivas múltiples (agua, inundaciones, hábitat, etc.) como los planes de gestión de cuencas. Si bien no obliga a su uso, ha impulsado la creación de redes regionales de apoyo y nuevas comunidades de práctica en las principales cuencas fluviales.

En algunos casos, los medios normativos directos pueden facilitar la adopción de las SbN o eliminar las barreras directas. Bennett y Ruef (2016) ofrecen varios ejemplos: En 2016 se promulgó una nueva ley en California que

permite que los bosques y prados califiquen como infraestructura hídrica que, por su parte, posibilita que el financiamiento de infraestructura hídrica disponible se utilice para proteger o restaurar los paisajes que se usan para suministro de agua; Perú obliga directamente a los organismos operadores que asignen los ingresos de las tarifas de agua para invertir en infraestructura verde y SbN para la adaptación climática; y en la UE la Política Agrícola Común incluye un objetivo para gastar el 30% de los pagos directos proporcionados a través de subvenciones agrícolas de la UE para la mejora en el uso de los recursos naturales (es decir, medidas "verdes", que incluyen múltiples posibles SbN a nivel de finca). Estas políticas proporcionan a las autoridades públicas un vehículo para acceder a procesos nuevos o existentes que les permiten seleccionar, financiar e implementar las SbN.

A fin de que las ciudades puedan adoptar una amplia gama de SbN, generalmente deben estar dentro de un plan o estrategia específica, o las SbN deben integrarse en el plan de desarrollo general (Kremer et al., 2016). Cada ciudad, región o país encontrará diferentes opciones que sean convenientes dentro de sus planes y mecanismos de financiación existentes. En Barcelona, por ejemplo, se adoptó el *"Plan del Verde y de la Biodiversidad"*, que sugiere programas para la implementación y un "catálogo de acciones potenciales" que incluía un rango de SbN (Oppla, n.d.). En China, las grandes inversiones nacionales para respaldar a las ciudades de demostración a crear una "ciudad esponja" (ver Cuadro 2.6), la planificación y el diseño es una avenida similar para probar y expandir las SbN dentro de los esquemas SUDS (Horn y Xu, 2017).

### 6.3.2 Posibilitación de los marcos globales e internacionales

A nivel mundial, las SbN ofrecen a los Estados miembros un medio para dar respuesta y utilizar diversos acuerdos ambientales multilaterales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y la Convención de Ramsar sobre los Humedales, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, que incluye la seguridad alimentaria (ver el Capítulo 1 para más detalles) y el Acuerdo de París sobre Cambio Climático, al tiempo que se abordan imperativos económicos y sociales. Cada uno de estos debe ser incorporado a las normativas y políticas nacionales relevantes que influyen en la toma de decisiones a escala provincial y local y afectan a la integración de las SbN. Dado que muchas de las SbN se implementan a nivel local, los Estados miembros pueden revisar su marco político general, garantizando que se hayan establecido los incentivos adecuados y el entorno de apoyo para la formulación de políticas al nivel apropiado de toma de decisiones, para permitir la adopción de las SbN cuando esté justificado. Un marco general para la promoción de las SbN es la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los ODS (que se analizarán más adelante en el Capítulo 7).

> Las SbN deben basarse menos en suposiciones generalizadas y deben evaluarse mejor y diseñarse específicamente para las aplicaciones locales

## 6.4 Mejora de la colaboración intersectorial y armonización de las políticas

### 6.4.1 Colaboración intersectorial

Un desafío bien documentado es que las SbN pueden requerir niveles mucho mayores de colaboración intersectorial que los enfoques de infraestructura gris, particularmente cuando se aplican a escala de paisaje. Las SbN a menudo están presentes en diversas áreas sectoriales de interés (por ej., entre aquellos que trabajan en la gestión del agua, agricultura, silvicultura, planificación urbana, protección ecológica, etc.) y los actores que tienen diferentes perspectivas y prioridades para cualquier propuesta de SbN (Nesshöver et al., 2017). Sin embargo, esto también puede abrir oportunidades para reunir a dichos grupos en un proyecto o agenda común.

Una SbN puede parecer más útil para un planificador cuando la discusión se centra en un problema claramente identificado y se presenta como una alternativa o complemento a otras opciones (Barton, 2016). Esto ayudará a fortalecer la adopción de las SbN dentro del diseño general de políticas, medidas o acciones para abordar diversos desafíos. Para que una SbN se presente con éxito, debe quedar claro qué ofrecerá, cuánto costará, cómo se gestionará y quién podrá hacerlo.

Un conjunto de " estudios de caso de infraestructura verde" fue recopilado y evaluado por las empresas participantes (Dow Chemical Company/Swiss Re/Shell/Unilever/TNC, 2013), abarcando desde los humedales construidos y la gestión de aguas pluviales hasta el tratamiento, la descontaminación y el control de la erosión. Las lecciones clave se relacionan con perspectivas de tiempo, donde una visión a largo plazo favorece a las SbN sobre las soluciones grises y la necesidad de establecer límites lo suficientemente grandes para incluir los servicios ecosistémicos y, sobre todo, la aceptación y apoyo por parte del personal directivo junto con un paladín para impulsar el proyecto.

El sector agrícola también ha tenido avances: la rápida adopción y diseminación de tierras de cultivo con labranza reducida o agricultura de conservación se ha triplicado de 45 millones de hectáreas de tierras de cultivo en la década de 1990 hasta aproximadamente 157 millones de hectáreas en la actualidad (AQUASTAT, n.d.), lo que representa poco más del 1% de la tierra actualmente bajo cultivos permanentes. Además, la adopción es muy variable entre las regiones, y las diferencias parecen tener más que ver con entornos propicios que con factores económicos o biogeológicos y climáticos. En particular, la existencia de una predisposición de interés institucional, político y comercial que funciona en contra de las soluciones sostenibles, parece ser un factor decisivo (Derpsch y Friedrich, 2009). Un elemento fundamental del éxito de la agricultura de conservación ha sido el reconocimiento por parte de los agricultores de que el enfoque ofrece una mejor productividad y sostenibilidad agrícola, además de beneficios ambientales no agrícolas. Esto demuestra que los resultados de positivos para todas las partes de las SbN deben identificarse mejor y promoverse para alentar el compromiso más amplio de los actores y promover una mejor coordinación. Donde hay perdedores, estos deben ser identificados y, cuando sea necesario, compensados.

### 6.4.2 Armonización de las políticas a través de agendas múltiples

La armonización de las múltiples esferas de políticas a escala mundial, internacional, nacional, provincial y local es una necesidad esencial para el desarrollo sostenible. Las SbN ofrecen un medio para poner en práctica las políticas a través de escalas y dimensiones económicas, ambientales y sociales. Esto también es, en cierto sentido, un medio fundamental para promover la colaboración intersectorial a través del desarrollo de un consenso sobre los objetivos de las políticas en una situación particular.

En muchos países, el panorama de las políticas sigue estando muy fragmentado. Una mejor armonización de las políticas en todas las agendas económicas, ambientales y sociales es un requisito general por derecho propio, pero particularmente importante con respecto a las SbN debido a su capacidad de proporcionar múltiples beneficios colaterales, a menudo importantes, más allá de los resultados hidrológicos. Los impactos sociales de las estrategias de gestión del espacio verde, por ejemplo, contribuyen a una gama de resultados de salud pública y bienestar que también pueden impulsar el interés público o reforzar el apoyo político para su implementación. Estos incluyen los efectos positivos de los espacios verdes en los residentes a través de la relajación psicológica, el alivio del estrés, mayores oportunidades para la actividad física, la reducción de la depresión y la mejora de la salud mental y física (Raymond et al., 2017).

Las "Medidas de retención natural del agua" de la Comisión Europea (CE, 2014) también proporcionan recomendaciones para coordinar la planificación y la financiación dentro de otros ámbitos de políticas, como la *Directiva Marco del Agua y la Directiva de inundaciones.* En Alemania, una evaluación identificó las metas de políticas precisas establecidas por el gobierno, donde las inversiones en SbN podrían ser dirigidas para contribuir en su consecución, incluyendo su objetivo de mitigación del cambio climático, así como sus estrategias nacionales de adaptación, biodiversidad y protección forestal (Naumann et al. al., 2014). Cuatro ministerios diferentes con un énfasis temático diferente trabajan en estrecha colaboración para garantizar un enfoque integrado para la implementación exitosa del enfoque de "Ciudad Esponja" de China (véase el Cuadro 2.6). La Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma proporciona fondos especialmente asignados para la construcción de ciudades esponja, el Ministerio de Finanzas promueve asociaciones público-privadas y apoyo financiero directo, el Ministerio de Urbanismo y Vivienda proporciona orientación sistémica sobre objetivos, estándares tecnológicos y evaluación, y el Ministerio de Recursos Hídricos ofrece una guía funcional y la supervisión sobre los aspectos de conservación del agua (Embajada del Reino de los Países Bajos en China, 2016; Xu y Horn, 2017).

Los mandatos claros al más alto nivel político pueden acelerar significativamente la adopción de las SbN y fomentar una mejor coordinación intersectorial. En los EE. UU., por ejemplo, un Memorando Presidencial de 2015 (La Casa Blanca, 2015) obligaba a las agencias federales a tener en cuenta la infraestructura verde a la hora de tomar decisiones y estableció un centro de inversión en recursos naturales.

A raíz de ello, el Departamento de Energía y Medio Ambiente en Washington DC ofrece capacitación y orientación sobre el uso de infraestructura verde para la reducción de aguas pluviales, incluyendo la capacitación sobre la Observancia General, Generación y Certificación de Créditos para Retención de Agua Pluvial y Descuentos sobre Tarifas sobre Áreas Impermeables, Proporción de Área Verde y Mejores Prácticas de Gestión para la Construcción e Inspección de Infraestructura Verde.[18] La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) ofrece una serie de fichas informativas que describen *"cómo la EPA y los funcionarios responsables de la autorización y aplicación, pueden incorporar prácticas y enfoques de infraestructura verde en los programas de la temporada de lluvias del Sistema Nacional de Eliminación de Vertidos de Contaminantes, incluidos los permisos de aguas pluviales, Carga Diaria Total Máxima, desbordamientos de alcantarillas combinadas, planes de control a largo plazo y medidas de cumplimiento."* (EPA de los EE. UU., 2015, p.2).

Dos herramientas clave de uso común para facilitar los enfoques más integrados para la gestión de los recursos hídricos, incluida la atención a múltiples grupos de actores, son el ordenamiento territorial integrado y la GIRH. Sin embargo, a menudo en la práctica estos no incluyen adecuadamente la dimensión agua-ecosistema: el ordenamiento territorial con frecuencia no toma en

[18] Para obtener más información, consulte: doee.dc.gov/node/619262

> La mejora de la gestión de la tierra incluye un conjunto de SbN que puede aumentar la seguridad hídrica

cuenta las implicaciones de uso del suelo para los recursos hídricos, y la GIRH (en la práctica) a menudo se centra demasiado en la gestión de las asignaciones de aguas superficiales y subterráneas y descuida las influencias del ecosistema, incluidos los impactos del cambio de uso del suelo. Ambas herramientas también con demasiada frecuencia no consideran los servicios ecosistémicos como un marco para la evaluación, lo que conlleva omisiones significativas de los impactos importantes de las decisiones de gestión. Por ello, una respuesta clave es la integración total de los ecosistemas y sus servicios en la planificación del uso de tierra y el agua.

## 6.5 Mejorar la base de conocimientos

### 6.5.1 Mejorar el conocimiento y disipar mitos

El tema de la interacción entre el medio ambiente y el agua está plagado de mitos, interpretaciones erróneas y generalizaciones precipitadas (Bullock y Acreman, 2003; Andréssian, 2004; Chappell, 2005; Tognetti et al., 2005), lo cual no ayuda a generar confianza en las aplicaciones de SbN. Se hacen inferencias o suposiciones, a menudo erróneas, sobre las funciones hidrológicas que operan en los ecosistemas y, por consiguiente, sobre la eficacia con que pueden alterar el ciclo hidrológico y proporcionar beneficios a las personas. Como se señaló en el Capítulo 1, existe una amplia variación en los servicios hidrológicos y de otro tipo proporcionados por diferentes tipos de ecosistemas. Esto significa que las aplicaciones de las SbN deben basarse menos en suposiciones generalizadas y deben evaluarse mejor y diseñarse específicamente para las aplicaciones locales. Un factor que contribuye a menudo es la falta de rigor, cuando no una mala interpretación, con respecto a las rutas hidrológicas precisas en juego y cómo estas se ven influenciadas, o no, por las intervenciones de gestión del ecosistema. Raymond et al. (2017) resumió las brechas de conocimiento clave en la evaluación de los impactos de las SbN (enfocadas en áreas urbanas), señalando que se conocen estos impactos en el medio ambiente, pero su rentabilidad y la entrega sostenida de los diferentes beneficios, a menudo no está clara. Una base de conocimiento mejorada, que incluye, en algunos casos, una ciencia más rigurosa, es una necesidad general fundamental.

La evidencia establecida ayuda a convencer a los tomadores de decisiones de la viabilidad de las SbN. Las percepciones de incertidumbre sobre su desempeño y rentabilidad, el acceso limitado a la información y orientación sobre su diseño, implementación, monitoreo y evaluación, así como el temor a los altos costos de implementación, son todas limitaciones identificadas para implementar las SbN (Davis et al., 2015 ) El requisito más elemental es la capacidad de infundir confianza en que una SbN puede proporcionar el objetivo principal del servicio de agua que debe cumplir; aunque la consideración de los beneficios colaterales no hidrológicos aún puede inclinar las decisiones a su favor (p. ej., Mander et al., 2017). Además, los desincentivos ocurren cuando falla una SbN mal diseñada. Esto contribuye a la parcialidad hacia las soluciones grises.

Sin embargo, las críticas a la base de pruebas para las SbN es otro ejemplo más de lo diferente que los enfoques verde y gris se consideran. Por ejemplo, las pruebas hidrológicas y socioeconómicas que sustentan algunas infraestructuras grises, establecen un obstáculo muy bajo contra el cual las SbN podrían considerarse. La Comisión Mundial de Represas (2000) disipó la percepción de que los mega proyectos de infraestructura siempre se basan en sólidos fundamentos científicos, económicos y técnicos, con grandes proyectos de represas que muestran un alto grado de variabilidad en los beneficios proyectados, que a menudo no alcanzan las objetivos físicos y económicos, y con sobrecostos significativos, mientras que su verdadera rentabilidad sigue siendo difícil de alcanzar, ya que sus costos ambientales y sociales a menudo han sido mal contabilizados en términos económicos. A la Comisión también *"le causó preocupación el observar que las evaluaciones sustantivas de los proyectos finalizados son pocas, de alcance limitado, poco integradas en las categorías y escalas de impacto, y relacionadas de manera inadecuada con las decisiones sobre las operaciones"* (Comisión Mundial de Represas, 2000, pág. xxxi).

El estudio de país sobre la India, realizado por la Comisión Mundial de Represas, concluyó que un siglo o más de desarrollo hídrico a gran escala había producido importantes impactos sociales y ecológicos, incluidos el considerable desplazamiento humano, la erosión del suelo y anegamiento generalizado, mientras que, contrariamente a los objetivos establecidos, lograba solo beneficios de seguridad alimentaria (Rangachari et al., 2000). No obstante, las SbN requieren una base científica y de conocimientos fortalecida para apoyar su rápida incorporación. Las SbN a menudo no son tan predecibles como las soluciones convencionales de infraestructura gris. Si bien existe una gran cantidad de datos históricos sobre costos y beneficios de la infraestructura construida para la gestión de los recursos hídricos, por lo general no es el caso para las opciones de SbN (PNUMA-DHI/IUCN/TNC, 2014). El mejor camino a seguir es aceptar la innovación e investigación continua durante la implementación y administrar de forma adaptativa las SbN con rigor científico, reconociendo que los ecosistemas son dinámicos y complejos (Mills et al., 2015).

Otra preocupación que se plantea con frecuencia es que las SbN tardan mucho tiempo para lograr su impacto, lo que supone que la infraestructura gris es más rápida. Este no es necesariamente el caso. Por ejemplo, la adecuación de una instalación local de drenaje urbano sostenible o un techo verde se puede hacer en cuestión de días, con impactos inmediatos. Aplicarlos a escala puede llevar más tiempo, pero no necesariamente más tiempo que las alternativas grises. La transición de la gestión de tierras de cultivo a una labranza más sostenible ("agricultura de conservación") puede generar beneficios en 2 o 3 años (Derpsch y Friedrich, 2009).

La implementación de las SbN a escala de paisaje, por ejemplo, mediante la restauración de ecosistemas, puede llevar más tiempo, pero se pueden lograr impactos significativos en unos 10 años (véase Cuadro 2.2). En comparación, las grandes represas tardan en promedio 8,6 años en construirse físicamente (sin incluir el tiempo requerido para el diseño, planificación y financiamiento) y 8 de cada 10 grandes represas se ven afectadas por retrasos en el plan previsto (Ansar et al., 2014).

Otra suposición a menudo exagerada sobre las SbN es que son "rentables", cuando esto debería establecerse durante una evaluación, incluida la consideración de los beneficios colaterales. Además, aunque algunas aplicaciones de SbN a pequeña escala pueden ser de bajo costo o sin costo, algunas aplicaciones, particularmente a escala, pueden requerir grandes inversiones: por ejemplo, los costos de restauración del ecosistema varían ampliamente, de unos pocos cientos a varios millones de dólares por hectárea. (Russi et al., 2012).

Aunque hay poco que debatir acerca de que los humanos reciben servicios invaluables de los ecosistemas y de que dependen mucho de ellos, los métodos para identificar y valorar estos servicios e integrar la valoración en los procesos de planificación y toma de decisiones siguen siendo un gran desafío para la gobernanza (Kremer et al., 2016 ) Se pueden utilizar diferentes formas de análisis multicriterio para informar mejor la toma de decisiones en proyectos de SbN (Liquete et al., 2016). Estos son más útiles cuando pueden evaluar una posible SbN contra otras opciones alternativas, que pueden incluir una infraestructura gris o híbridas gris-verde o mantener una situación actual.

Las SbN, como es lógico, están estrechamente alineadas con el conocimiento tradicional y local, incluido el de los pueblos indígenas y tribales, en el contexto del cambio y la variabilidad del agua. Los pueblos indígenas y tribales cuidan cerca de un 22% de la superficie de la Tierra y protegen casi el 80% de la biodiversidad del planeta, en tanto que constituyen solo cerca del 5% de la población mundial (OIT, 2017). A fin de que las SbN se beneficien adecuadamente de las contribuciones de los pueblos indígenas y tribales, y otras fuentes de conocimiento, resulta imprescindible que se aborden sus vulnerabilidades socioeconómicas y ambientales, y se respeten sus derechos. El Convenio 169 sobre Pueblos Indígenas y Tribales de la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 1989) es un tratado internacional que proporciona orientación para garantizar el empoderamiento de los pueblos indígenas y promueve sus conocimientos, culturas y formas de vida tradicionales. Con mayor frecuencia, los procesos internacionales globales, como el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, y el Acuerdo de París sobre Cambio Climático reconocen el valioso papel que desempeñan los pueblos indígenas y sus conocimientos tradicionales en la creación de sociedades resilientes.

El conocimiento ecológico tradicional o de la comunidad local sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la interacción naturaleza-sociedad puede ser incalculable, pero existen restricciones frecuentes para su incorporación en las evaluaciones y la toma de decisiones. El conocimiento tradicional también está amenazado por el conflicto de los usos comerciales de los recursos naturales y por el delicado tejido social de algunas sociedades (Tinoco et al., 2014). Una respuesta a esto es garantizar que los poseedores de los conocimientos participen plena y eficazmente en las evaluaciones, la toma de decisiones, la implementación y la gestión. En términos más generales, la adjudicación de las SbN impulsadas por la comunidad es una forma de destacar cómo estas soluciones pueden encajar en el desarrollo sostenible local (Cuadro 6.2).

Igualmente importante para el conocimiento mismo es el medio por el cual se comunica. Los métodos para evaluar la capacidad de las SbN para proporcionar servicios de agua, por ejemplo, se pueden traducir en manuales, que pueden ser entendidos tanto por ingenieros como por ecologistas, pero orientados para brindar orientación a los hacedores de políticas y los gerentes y contratistas locales que implementarían una determinada SbN (Hulsman, 2011). El desafío del conocimiento puede ser aún más importante en muchos países en desarrollo, donde la capacidad técnica para implementar enfoques alternativos es a menudo más baja que en los países desarrollados (Narayan, 2015; Jupiter, 2015). Sin embargo, hay fuentes de aprendizaje y enfoques a emular. Por ejemplo, en la región del Mekong, el Banco Asiático de Desarrollo y el Centro Internacional para la Gestión Ambiental crearon un conjunto de herramientas de siete volúmenes para apoyar a las autoridades municipales, ingenieros de infraestructura, especialistas en evaluación ambiental, tomadores de decisiones, planificadores urbanos, especialistas en inundaciones y sequías, y representantes de la comunidad local para comprender mejor dónde y cómo pueden incorporar las SbN en la planificación urbana sostenible y resiliente (BAsD, 2015).

Los ejemplos más diversos de entrega basados en los indicadores de desempeño podrían respaldar una base de pruebas más sólida para hacer que el caso de las SbN sea más convincente. Se necesita información adaptada a las necesidades de los actores, que debe abarcar el valor económico presentado, la posible reducción del riesgo, los beneficios generados, etc., así como una amplia gama de valores sociales y culturales relacionados con los ecosistemas y su gestión en diferentes escalas espaciales (Brown y

Cuadro 6.2

## LA INICIATIVA ECUATORIAL: PROMOCIÓN DE LAS SBN INVOLUCRANDO A LAS COMUNIDADES INDÍGENAS

La Iniciativa Ecuatorial es una sociedad que reúne a las Naciones Unidas, gobiernos, instituciones académicas y organizaciones de la sociedad civil que van desde ONG internacionales hasta organizaciones de base y pueblos indígenas con la finalidad de desarrollar capacidades y elevar el perfil de los esfuerzos que impulsan las SbN al desarrollo local sostenible en varios países. El Premio Ecuatorial relacionado, se otorga cada dos años para reconocer los esfuerzos sobresalientes de la comunidad de la reducción de la pobreza a través de la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. El Centro del Conocimiento de la Iniciativa Ecuatorial también posee una base de datos de las SbN y un mapa interactivo.

Varios proyectos incluyen el redescubrimiento de los sistemas ancestrales de gestión del agua y técnicas tradicionales de captación de agua de lluvia para mejorar la calidad del agua potable. La restauración de la captación de agua de lluvia puede ser necesaria debido a las nuevas presiones, como los derrames de petróleo y aguas residuales que inhibieron el uso de algunos ríos en el caso de Ecuador, o debido a la intrusión de agua salina, en el caso de la ciudad costera de Barisal en Bangladesh.

La captación de agua a una escala más amplia, también resulta importante para sustentar los medios de subsistencia y los hábitats. El Centro para el Desarrollo de la India apoya la educación comunitaria sobre los sistemas de supervivencia ancestrales. Para ello, se desarrolló un proyecto de demostración con estructuras de gobernanza comunitaria que implican la regeneración y el mantenimiento de los comités de aldea, combinado con mayores ingresos y la seguridad de los medios de subsistencia, con el potencial de ser replicado, para mejorar el equilibrio entre los seres humanos y la naturaleza.

La gestión de cuencas hidrográficas también involucra la preservación y rehabilitación de la cobertura vegetal nativa, como en el río Ethiope en Nigeria, donde tales iniciativas han ayudado a mitigar los impactos de la erosión y canalización de sedimentos en los arroyos de las fuentes de ríos y reconectar las secciones de arroyos fragmentados y las reservas de vegetación nativa.

Los proyectos basados en la comunidad colaborando particularmente con los pueblos indígenas, demuestran formas factibles de abordar los desafíos futuros de la creciente falta de confiabilidad de las fuentes de agua, debido a la contaminación u otros cambios en los regímenes hídricos. Los proyectos hídricos impulsados por la comunidad, pueden fomentar un conjunto de soluciones más diverso y adaptado localmente a la gestión del agua y los recursos naturales, y aprovechar el conocimiento existente y que desaparece cada vez más sobre el medio ambiente local y cómo hacer un uso sostenible de sus recursos a través de soluciones inherentes basadas en la naturaleza.

*Fuente: Iniciativa Ecuatorial (n.d.).*

*Contribución de Marianne Kjellén (UNDP).*

Fagerholm, 2015; Plieninger et al., 2015; Raymond y Kenter, 2016). Además de un diagnóstico de la posible propuesta de valor y las barreras de la inversión en la SbN específica y su implementación, la atención a la participación de la comunidad en la valoración, diseño y entrega de la SbN también son partes esenciales de este proceso.

### 6.5.2 Lagunas de información e investigación

Se han identificado algunas lagunas de información clara y de necesidades de investigación en la preparación de este informe. Estas incluyen la mejora de:

- comprensión del desempeño hidrológico de los diferentes tipos y subtipos de ecosistemas, incluso bajo diferentes regímenes de gestión, para permitir proyecciones mejoradas del desempeño de las SbN en sitios específicos a nivel local
- conocimiento de la hidrología de LULUC, particularmente sus impactos a escala
- comprensión de los impactos de la pérdida y degradación de los ecosistemas en la hidrología
- comprensión de los vínculos entre los ecosistemas, el agua y los servicios ecosistémicos para sustentar mejor las predicciones de los impactos del cambio de ecosistema (positivos o negativos) en el bienestar humano
- evaluaciones del rendimiento hidrológico y socioeconómico de las aplicaciones de SbN, incluyendo sus fallos, y compartir este conocimiento. Raymond et al. (2017) sugiere una hoja de ruta potencial para evaluar el desempeño de las SbN
- indicadores de la eficacia y la eficiencia de las SbN y, en particular, aquellos que permiten vincular los ecosistemas, la hidrología y los resultados económicos y sociales
- directriz para la realización de análisis holísticos de costo-beneficio que incluyan los beneficios colaterales no relacionados con el agua
- herramientas de comunicación para las SbN
- integración de los ecosistemas en ordenamiento territorial y la GIRH
- comprensión de los impulsores sociopolíticos de la política y la gestión de los recursos hídricos para comprender mejor e identificar los detonantes efectivos para estimular el cambio transformador.

Como se señaló en todas las ediciones anteriores del Informe sobre el *Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo* es necesario mejorar la información general sobre la disponibilidad, la calidad y los riesgos del agua, e igualmente importante si se relacionan con las SbN y sus beneficios. Se requieren mejores datos para la situación y las tendencias de todos los ecosistemas relacionados con el agua. Sin embargo, se destaca la escasa disponibilidad de datos sobre suelos, en vista de su influencia en la hidrología, su importancia para la seguridad alimentaria y, en particular, un plazo amplio para su formación y consecuente reabastecimiento, en comparación con otros



Paisaje de pólder en los Países Bajos

tipos de ecosistemas, que puede durar siglos (FAO / GTIS, 2015a). Sin embargo, una base científica mejorada para la gestión, regulación y política del agua no surge simplemente de obtener más datos e información sobre más indicadores sino de reconocer que una transición perceptual a escalas temporales, espaciales y organizacionales más grandes es igualmente necesario (Bedford y Preston, 1988).

## 6.6 Un marco común y criterios para la evaluación de opciones

Un muy reconocido desafío a la adopción de las SbN es la tendencia, por parte de varios sectores o subsectores del agua, a usar sus propios métodos individuales específicos en la evaluación, el monitoreo y la revisión, incluso para evaluar el rendimiento de la inversión a lo largo del tiempo. El desarrollo y la implementación de criterios comunes con respecto a los cuales se pueden evaluar tanto las SbN como otras opciones para la gestión de los recursos hídricos, es un requisito prioritario para permitir una consideración equitativa de los costos y beneficios de las opciones. Cohen-Shacham et al. (2016) ofrece sugerencias de criterios para evaluar la viabilidad de las SbN, mientras que Raymond et al. (2017) proporciona una revisión detallada de los indicadores para la evaluación y el monitoreo de las SbN, muchos de los cuales también serían relevantes para otras opciones de gestión del agua. El trabajo en curso sobre el desarrollo de criterios y estándares comunes para evaluar las posibles inversiones en las SbN, en comparación con las opciones de infraestructura gris, se discutió brevemente en la Sección 6.2 (ver también el Cuadro 6.1).

Los criterios generales comunes para una evaluación de las opciones de gestión de los recursos hídricos (por ejemplo, soluciones verdes versus soluciones grises) pueden desarrollarse caso por caso. La inclusión completa de todos los beneficios hidrológicos y otros beneficios colaterales y la gama completa de los costos y beneficios de los servicios ecosistémicos (para cualquier opción) sería un requisito clave. Sin embargo, es probable que también se necesiten criterios más detallados para las aplicaciones en áreas clave (p. ej., la infraestructura urbana, la agricultura y la RRD). Esto requerirá la creación de un consenso entre los diversos actores relevantes y, por lo tanto, aquí no se proponen más detalles. Un marco común y los criterios para evaluar cualquier opción constituirán contribuciones esenciales para el logro de la sostenibilidad y la equidad en los resultados de la gestión de los recursos hídricos.

# 7 COMPRENDER EL POTENCIAL DE LAS SbN PARA EL AGUA Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE



**WWAP** | David Coates, Richard Connor, Angela Renata Cordeiro Ortigara, Stefan Uhlenbrook y Engin Koncagül

Edificio de rascacielos verdes en Sydney (Australia)



Este Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (WWDR) concluye que existe un gran potencial para que las SbN realicen importantes contribuciones, y en muchas áreas únicas y esenciales, para lograr la sostenibilidad de los recursos hídricos y la consecución de varios objetivos de gestión del agua. Hoy en día, este hecho es ampliamente subestimado.

Este capítulo extrae conclusiones con respecto a las tres preguntas clave sobre las SbN:

- ¿Cuál es la situación actual de las aplicaciones de SbN?
- ¿Cuál es el potencial para su aplicación posterior?
- ¿Qué se necesita cambiar para hacer realidad ese potencial?

Sobre la base de las conclusiones y lecciones aprendidas en los capítulos anteriores, se presenta una descripción general de la situación actual de cómo las SbN contribuyen a la gestión de los recursos hídricos, seguido de una evaluación de su potencial contribución para enfrentar los desafíos actuales y futuros en la gestión de los recursos hídricos, y a continuación una descripción de los cambios clave requeridos para lograr el potencial completo de las SbN. El capítulo concluye demostrando cómo las SbN para el agua también contribuyen al logro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los ODS.

Aunque este informe ha evaluado las SbN para la mejora de la disponibilidad, calidad y riesgos del agua en capítulos separados (2, 3 y 4, respectivamente), reconociendo los vínculos entre ellos, un punto clave es que la mayoría de las SbN ofrecen beneficios en las tres áreas simultáneamente. No es habitual que las SbN se implementen con un único propósito y generalmente son favorecidas porque mejoran el rendimiento general del sistema, incluido el aumento de la capacidad de resiliencia. Además, todos los capítulos anteriores han resaltado los importantes beneficios

colaterales que normalmente ofrecen las SbN, más allá de los resultados directos relacionados con el agua, tales como mejores resultados de biodiversidad, valores paisajísticos, beneficios sociales y económicos, así como la sostenibilidad del sistema.

Dichos beneficios a menudo inclinan las evaluaciones individuales de las opciones a favor de las SbN y ciertamente argumentan a favor de su consideración fortalecida en general.

## 7.1 ¿Dónde nos encontramos ahora?

Aunque no ha habido una evaluación cuantitativa exhaustiva de la aplicación actual de las SbN en todo el mundo, hay dos puntos bien establecidos.

En primer lugar, históricamente se ha llevado a cabo una aplicación considerable de las SbN en la gestión del agua en sus tres dimensiones – disponibilidad de agua, calidad del agua y riesgos relacionados con el agua. El tema no es nuevo, existen comunidades de práctica conocedoras, experimentadas y entusiastas en muchos sectores o ámbitos. En la mayoría de los casos, las SbN no son impulsadas principalmente por cabilderos ambientales. Hay ejemplos notables en los que las innovaciones y ampliación de las SbN han sido lideradas por intereses sectoriales. Esto es un buen augurio para la expansión de la adopción, ya que demuestra su utilidad aceptada. Por ejemplo: en la agricultura, las aplicaciones son generalizadas y están dirigidas por los agricultores y/o sus instituciones de apoyo, y la integración de las SbN en los marcos de política agrícola ha sido demostrablemente liderada por las agencias agrícolas; las SbN ya están incorporadas en algunos enfoques del sector empresarial debido a la forma en que contribuyen a un modelo comercial sostenible; y la infraestructura verde tiene una larga historia de implementación liderada por ingenieros civiles progresistas e iniciativas tradicionales basadas en la comunidad. Las instituciones ambientales, en particular a nivel nacional, están excepcionalmente calificadas para proponer de manera proactiva las SbN que también abordan los desafíos que enfrentan otros sectores e identificar de forma cooperativa los resultados de ganar-ganar. Esto requiere ampliar su enfoque histórico en la conservación del medio ambiente "natural" a través de normativas y regulaciones, para aumentar también el apoyo al progreso ambientalmente sostenible en sistemas gestionados o altamente modificados.

En segundolugar, existe amplia evidencia de que la atención hacia las SbN está en aumento. Por ejemplo: las inversiones en sistemas de PSA, implementadas, por ejemplo, a través de fondos de conservación y agua, se han incrementado (véanse los capítulos 3 y 5); las inversiones en escalada rápida en la infraestructura verde urbana demuestran una aceptación creciente,y los mercados emergentes de "bonos verdes" muestran un potencial prometedor para movilizar el financiamiento de las SbN y, en particular, demuestran que las SbN pueden funcionar bien cuando se evalúan con base en criterios de desempeño de inversión estandarizados rigurosos ( capítulos 5 y 6). Como era de esperar, las SbN se han convertido en una corriente dominante en los acuerdos ambientales multilaterales a medida que avanzan hacia una vinculación más explícita del medio ambiente con el desarrollo sostenible, y especialmente durante los últimos 10 años (capítulos 1 y 6). Es importante destacar que las SbN ahora están incorporándose a otros foros de políticas relevantes, como los de seguridad alimentaria y la agricultura sostenible (Capítulo 2), la reducción del riesgo de desastres (Capítulo 4) y el financiamiento (Capítulo 6).

Existe una clara evidencia en todos los capítulos de que los costos y beneficios de las SbN pueden compararse favorablemente con opciones alternativas de infraestructura gris, especialmente cuando se consideran los múltiples beneficios colaterales que ofrecen a mediano y largo plazo, aunque el Capítulo 6 señala que esto no siempre está bien establecido, y se requiere una mejor evaluación, monitoreo y valoración de las SbN si no se quiere socavar el progreso en los diferentes ámbitos.

Aunque el equilibrio óptimo entre inversiones verde y gris no está bien establecido y es altamente específico del sitio, la limitada información disponible sugiere que la inversión en infraestructura verde sigue siendo solo una fracción (posiblemente menos del 1%) de la inversión total en la gestión de los recursos hídricos. Además, quedan muchos ejemplos de intervenciones de políticas, financiamiento y gestión en las que no existen las SbN, incluso cuando presentan una opción obvia. Superar los importantes desafíos para la generalización de las SbN – que varían desde el abrumador predominio de las soluciones de infraestructura gris "convencionales" hasta la falta general de conocimiento y comprensión de lo que las SbN pueden ofrecer – implica esencialmente crear un entorno propicio para evaluar las SbN y dónde sean financiadas e implementadas adecuadamente, bajo condiciones más equitativas (Capítulo 6). Los profesionales de las SbN deben desempeñar su papel a través de la mejora de la base de conocimientos, incluida la demostración de evaluaciones más sólidas de las SbN, con el fin de aumentar la confianza en las SbN y la capacidad de evaluarlas e implementarlas.

## 7.2 ¿Hasta dónde podemos llegar?

Este informe concluye que una mayor implementación de las SbN es fundamental para enfrentar los desafíos clave de la gestión contemporánea de los recursos hídricos de mantener y mejorar la disponibilidad de agua y su calidad, a la vez que se reducen los riesgos relacionados con el agua. Está bien establecido, tanto en la literatura científica como a través del consenso de política, que, sin una adopción más rápida de las SbN, la seguridad hídrica

> Una SbN puede parecer más útil para un planificador cuando la discusión se centra en un problema claramente identificado y se presenta como una alternativa o complemento a otras opciones

continuará disminuyendo, y probablemente de manera rápida. La evaluación del potencial relativo de los enfoques verde versus gris, no solo puede ser un desafío sino también una distracción. Como este informe ha argumentado, ambos ya son, y deberían ser, de mutuo apoyo. Sin embargo, las SbN son esenciales para lograr avances en una serie de áreas de desafío de los recursos hídricos y son la única opción viable para enfrentar algunos desafíos importantes a largo plazo. Las ediciones previas del Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, entre otros, han argumentado de manera coherente que la seguridad hídrica sostenible no se logrará a través de enfoques de *escenario invariable*. Las SbN ofrecen un medio clave para ir más allá de lo habitual. Sin embargo, la necesidad de una mayor implementación de las SbN no se aprecia en la actualidad. La justificación para tales reclamos surge de muchos factores, incluyendo:

- La conservación y restauración de los ecosistemas es la respuesta principal para revertir las tendencias actuales en la degradación de los ecosistemas y sus impactos sobre los recursos hídricos, que se han convertido en un factor primordial para determinar la situación negativa actual de los recursos hídricos (prólogo) – incluida la mitigación de riesgos de desastres relacionados con el agua, que se ven agravados por el cambio climático y otros cambios globales (Capítulo 4).
- La evaluación del potencial de las SbN para abordar la escasez de agua en la agricultura, quizás sea el ejemplo más convincente de su importancia. Las ganancias potenciales a través de una mejor gestión de la interfaz suelo-vegetación son enormes. La restauración de la base ecológica de la producción agrícola y ganadera como medio para mejorar la seguridad hídrica para la agricultura y moderar sus externalidades mediadas por el agua se considera el enfoque prioritario para posicionar a la agricultura dentro de límites sostenibles y lograr la seguridad alimentaria (FAO, 2011b; 2014a). Las evaluaciones citadas en el Capítulo 2 sugieren que la extensión del ámbito de aplicación de las SbN (que involucra principalmente la gestión mejorada del suelo, la vegetación y el paisaje) a los sistemas de cultivos de secano existentes, ofrece ganancias proyectadas equivalentes a aproximadamente el 50% de la producción actual de cultivos de regadío. Desde la perspectiva de la huella hídrica, esto se traduce en una mejora equivalente al 35% de las extracciones de agua totales actuales en todo el mundo.
- Por lo tanto, y planteándolo de manera simplista, el ahorro de agua de estas SbN podría representar más que la demanda proyectada de agua para el 2050 ( prólogo), resolviendo simultáneamente (a nivel global) no solo la seguridad hídrica para el desafío de la seguridad alimentaria, sino también liberando suministros de agua para otros usos, y potencialmente reduciendo la demanda global de agua. Los beneficios socioeconómicos asociados también son sustanciales, ya que la mayoría de las familias de agricultores en los países en desarrollo dependen de los cultivos de secano. Los enfoques similares de SbN ofrecen oportunidades para mejorar aún más la eficiencia del uso del agua de los cultivos en los sistemas de riego. Además, estos enfoques de SbN generalmente mejoran la calidad del agua, a la vez que fortalecen la resiliencia del sistema y, por lo tanto, reducen los riesgos. Los cultivos de secano dependen de una infraestructura gris escasa (si la hay). Por lo tanto, este solo ejemplo descarta cualquier noción de que las SbN son de algún modo un complemento menor a las soluciones de infraestructura gris; el progreso se logra simplemente gestionando mejor los componentes del ecosistema (en este caso, suelos y cobertura del suelo) a fin de que el agua de lluvia se llegue y se mantenga donde se necesita – en la zona de la raíz de la planta.
- Las SbN son el medio principal, si no es que el único factible, para abordar la degradación del suelo y la sequía a escala (capítulos 2 y 4, aunque en la práctica muchas SbN utilizan enfoques similares para este fin, como para la mejora de la agricultura de secano como se indicó anteriormente). Esto hace que las SbN sean fundamentales para, por ejemplo, sostener los medios de subsistencia en las zonas secas y combatir la desertificación mediante la rehabilitación de la productividad de la tierra – un desafío prioritario para el desarrollo sostenible y la reducción de la pobreza.
- Los principales impactos del cambio climático en los humanos están mediados a través del agua (ONU-Agua, 2010) y ocurren principalmente a través de cambios relacionados con el agua inducidos por el agua en los ecosistemas (IPCC, 2014). Esto implica que uno de los medios clave para la adaptación al cambio climático es a través de una adaptación basada en los ecosistemas que mejore la resiliencia de estos a dichos cambios relacionados con el agua inducidos por el clima – es decir, la implementación de las SbN. De ahí la creciente atención a las SbN en las medidas de adaptación al cambio climático. Los capítulos 2, 3 y 4 proporcionan

ejemplos de SbN para abordar la disponibilidad, calidad y riesgos del agua, respectivamente, la mayoría de los cuales también son una respuesta de adaptación al cambio climático. Además, debido a que muchas SbN para la adaptación al cambio climático implican restaurar el carbono en los paisajes (ej., carbono del suelo o bosques) también contribuyen a la mitigación del cambio climático – lo cual no es un beneficio intrascendente, ya que el cambio de uso del suelo ha sido responsable de aproximadamente el 25% de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero hasta la fecha (FAO, 2014b).

- Actualmente, se reconoce ampliamente que la implementación de infraestructura verde urbana tiene un gran potencial. Existe un amplio margen para expandir la reconversión de la infraestructura verde o incorporarla en una etapa de planificación inicial, conjuntamente con la mejora de la gestión del paisaje urbano y periurbano, para lograr asentamientos urbanos sostenibles con un historial comprobado de contribuciones significativas a la gestión del agua urbana y resiliencia, incluida la reducción de riesgos (capítulos 3, 4 y 6).

WaSH es otra área donde las SbN ofrecen un potencial significativo, aunque este se logra principalmente a través de una mejor disponibilidad de agua y acceso a la misma (Capítulo 2), mejor calidad del agua (Capítulo 3) y reducción de riesgos relacionados con el agua (Capítulo 4). Por ejemplo, se reconoce que la degradación de los ecosistemas es una limitación importante para lograr el acceso universal al agua potable y, por lo tanto, se reconoce el alcance de la restauración de los ecosistemas como un factor determinante del rumbo futuro (Banco Mundial, 2009). Las SbN que involucran enfoques de saneamiento ecológico, como los sanitarios secos, también ofrecen la promesa de eliminar prácticamente los requisitos de uso del agua en muchas situaciones.

Las SbN contribuyen a la generación de empleos mejores y más sostenibles mediante la creación de beneficios directos generales de la gestión mejorada de los recursos hídricos, generando oportunidades de empleo en una amplia gama de sectores y liberando el potencial de creación de empleos indirectos a través de su efecto multiplicador (WWAP, 2016). Sin embargo, también pueden crear empleos y medios de subsistencia directamente. Por ejemplo, los esquemas de PSA permiten que el financiamiento para la gestión de los recursos hídricos se distribuya y reparta entre una amplia gama de beneficiarios – especialmente las comunidades pobres de las áreas rurales (Capítulo 5). Las SbN que contribuyen a mejorar la rentabilidad, resiliencia y sostenibilidad de la agricultura, ofrecen un potencial significativo para mejorar, en particular, la agricultura familiar a pequeña escala, considerada como uno de los medios más importantes para lograr que las personas salgan de la pobreza en la mayoría de los países en desarrollo.

## 7.3 ¿Cómo podemos llegar a ese punto?

Si la opción del escenario sin cambios fuera una alternativa posible, no necesitaríamos los Informes sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo (WWDR), ni ciertamente la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Las ediciones anteriores del Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo WWDR han abogado constantemente por un cambio transformacional en la manera en que gestionamos el agua. La mayoría de los foros de políticas coinciden en este punto. La presente edición del WWDR reitera esta misma conclusión, pero señala que las SbN ofrecen un medio importante para lograr el cambio transformacional requerido. Sostiene que la ausencia de un reconocimiento adecuado del papel de los ecosistemas en la gestión del agua es un factor clave que refuerza la necesidad de un cambio transformador. Este cambio transformacional ya no puede ser solo una aspiración : el cambio debe acelerarse rápidamente y, lo que es más importante, traducirse en políticas y acciones plenamente operativas. Este informe concluye que hemos tenido un buen comienzo, aunque algo tardío, en este proceso, pero aún nos queda un largo camino por recorrer.

Este cambio transformacional debe desarrollarrse con un enfoque mucho más holístico y basado en los sistemas hacia la forma en que gestionamos el agua. Las perspectivas de *un escenario sin cambios* son que el agua es un problema lineal (aguas arriba y aguas abajo) que tiene que ver principalmente con la gestión del agua superficial y el suministro y la demanda de aguas subterráneas, por lo general por separado y principalmente para el uso humano directo. Las compensaciones recíprocas con los ecosistemas se reconocen, pero se consideran secundarias al agua para las personas. El agua se gestiona por un subconjunto de sus valores, no por su entrega de beneficios máximos para todo el sistema. La respuesta convencional para mejorar el suministro y la calidad del agua, abordar el cambio climático y reducir el riesgo de desastres ha sido construir más infraestructura gris y, donde se reconocen, las SbN se consideran un beneficio adicional, no un negocio central. Sin embargo, un enfoque ecosistémico reconoce que el agua se mueve a través de los paisajes en una serie de ciclos interconectados desde escalas pequeñas a regionales o globales y muchos de estos desafían una perspectiva aguas arriba- aguas abajo. Por ejemplo, resalta la brecha actual en la atención a la gestión de los impactos del cambio de uso del suelo en la forma de reciclaje de humedad desde fuera de la cuenca, desafiando así la noción de que una cuenca hidrográfica es la unidad de gestión más apropiada ( capítulos 1, 2 y 6), aunque los límites de la cuenca ciertamente son mucho más apropiados que las unidades administrativas, que aún se utilizan comúnmente en la gestión de los recursos hídricos. El objetivo de las SbN es gestionar los sistemas, incluidos los enfoques integrados de infraestructura verde-gris y maximizar los beneficios de todo el sistema, por ejemplo:

- utilizar los ecosistemas para hacer que el agua regrese allí donde se necesita, donde es más segura; reducir los problemas de calidad del agua en la fuente; y ofrecer mejores beneficios socioeconómicos globales atodo el sistema, incluida la sostenibilidad y la resiliencia;
- la disponibilidad de agua ambiental para las necesidades humanas en paisajes no se ve como predeterminada por factores climáticos más allá de nuestra influencia, pero puede gestionarse, por ejemplo, a través de la gestión de la cobertura del suelo para influir en el reciclaje de humedad o mediante mejoras en la gestión del suelo;
- la cuestión no es simplemente la asignación entre usos competitivos; la disponibilidad, calidad y riesgos del agua para algunos usuarios pueden mejorarse al mismo tiempo que se mejoran los beneficios para los demás;
- se reconoce la necesidad de una infraestructura gris y el papel que desempeña, pero también sus limitaciones, incluida la forma en que puede aumentar significativamente los riesgos. una de las funciones de las SbN es abordar esas limitaciones y aumentar el rendimiento hidrológico y económico de las opciones de infraestructura gris, al tiempo que ofrece oportunidades para mejorar los beneficios sociales;
- el almacenamiento de agua no se considera simplemente como maximizar el rendimiento de las estructuras artificiales sino desde la perspectiva de cómo el almacenamiento de agua se gestiona mejor en paisajes rurales y urbanos, centrándose en sistemas interconectados (por ejemplo, embalses, humedales y acuíferos) que integran características de almacenamiento tanto naturales como artificiales. La prioridad es almacenar agua donde sea más segura y se pueda utilizar para diversos usos, con énfasis en la capacidad de resiliencia de los sistemas, y no se centre demasiado en la capacidad de almacenamiento artificial;
- desarrollar la resiliencia es primordial; los enfoques para la gestión de riesgos, incluidos los desastres y los riesgos mediados por el cambio climático, deben centrarse en abordar las causas básicas sistémicas de tales riesgos: el cambio en los ecosistemas;
- no solo se deben considerar los resultados relacionados con el agua, sino también los beneficios generales para todo el sistema, incluidos los beneficios colaterales de todas las opciones en forma colectiva;
- los sistemas se gestionan mejor a través de la participación de múltiples actores y el uso de las SbN para lograr un consenso sobre resultados de ganar-ganar al tiempo que se gestionan las compensaciones.
- abordar los elementos impulsores es una forma de abordar las causas subyacentes y no los síntomas – una comprensión de los factores directos e indirectos de la degradación y pérdida del ecosistema es crucial para identificar las oportunidades donde un enfoque en los servicios ecosistémicos puede ayudar a mejorar la gestión de los recursos hídricos

El enfoque de un escenario sin cambios perpetúa las políticas fragmentadas e ineficaces – lo que sería el fin para los resultados hídricos sostenibles identificados en la mayoría de las anteriores ediciones del Informe de mundial de sobre el desarrollo de los recursos hídricos. Muchos foros políticos han reconocido la necesidad de integrar estas políticas en sus múltiples áreas y escalas, no solo entre las agendas relacionadas con el agua, sino con respecto a cómo estas se relacionan, apoyan o entran en conflicto con otras necesidades sociales, económicas y ambientales. Esta tendencia ha culminado en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que tiene un enfoque integrado mucho mejor que su precursor, los Objetivos de Desarrollo del Milenio, al reconocer que los objetivos y metas interconectadas deben alcanzarse de manera colectiva. Las SbN ofrecen a los Estados miembros un mecanismo, entre otros, para lograr tales enfoques integrados mediante la vinculación de los pilares ambientales, económicos y sociales del desarrollo sostenible. El enfoque técnico para evaluar y articular dicha interdependencia es a través del uso de un marco de servicios ecosistémicos. Es fundamental que los gobiernos respondan no solo armonizando las políticas y regulaciones en todas las áreas de políticas, sino también revisen estas a escala para garantizar que la orientación normativa, o las regulaciones, sean claras y respalden, en lugar de limitar, la implementación de una toma de decisiones mejorada hacia los niveles locales.

La implementación de las SbN puede involucrar la participación de muchos grupos diferentes de actores, desde gobiernos hasta ONG y grupos ciudadanos (por ejemplo, asociaciones locales de agricultores, grupos de propietarios de tierras, intereses del sector privado, etc.). Las limitaciones institucionales para promover el diálogo intersectorial son bien conocidas (Capítulo 6) y han sido bien reconocidas en muchas ediciones anteriores del Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos. Lograr el cambio institucional requerido sigue siendo un desafío, y no menos para las SbN. Sin embargo, lo que es más importante, las SbN ofrecen un medio para alentar ese cambio a través de la concertación sobre los objetivos generales del sistema y la identificación de resultados de ganar-ganar entre múltiples intereses. Las SbN ofrecen un puente entre los sectores y sus intereses.

Orientar las inversiones hacia enfoques verdes será necesario para lograr una mayor eficiencia de inversión y para sustentar el desempeño y la rentabilidad de la inversión de la infraestructura gris. Por lo tanto, una oportunidad es transformar las inversiones para que las SbN puedan contribuir plenamente al incremento de la eficiencia, incluyendo la maximización de los beneficios colaterales y las mejoras potenciales en todo el sistema. El Capítulo 6 destaca algunos desarrollos prometedores en este sentido, incluida el surgimiento de evaluaciones rigurosas del rendimiento financiero comparativo de la inversión verde y gris. Es prometedor que estos a menudo han identificado los enfoques verdes como una inversión viable, fortaleciendo aún más el caso de la eficiencia de los enfoques de SbN.



Lago Naivasha (Kenia)

Si bien se requiere un cambio transformacional en varios niveles de políticas y financiamiento, tarde o temprano las decisiones sobre las intervenciones de gestión del agua se realizarán principalmente a nivel del sitio. El objetivo debe ser minimizar los costos y riesgos, maximizar la rentabilidad y solidez del sistema, a la vez que ofrece un desempeño óptimo apto para su uso. El permitir que se tomen las decisiones correctas a nivel de sitio al respecto, es un papel que debe asumir la política. La persistente tendencia hacia los enfoques de infraestructura gris apunta a la necesidad de reconocer las sinergias entre infraestructura verde y gris, y la necesidad de un marco común para evaluar las opciones disponibles ( capítulos 1 y 6). Solo bajo un marco común se puede determinar qué opción, o más comúnmente qué combinación de opciones, es la más adecuada. Esto requiere el uso de criterios, indicadores y metodologías comunes para las evaluaciones, comparaciones y la toma de decisiones. Desarrollar un marco común así como las herramientas y la capacidad para sustentarlo, es una necesidad prioritaria para traducir el cambio transformacional de políticas en la entrega de soluciones óptimas a nivel local.

La agricultura se distingue como un sector clave donde se destacan las oportunidades para el cambio transformacional, debido a su predominio del uso del agua, los vínculos entre el agua y la seguridad alimentaria, el potencial para la reducción de la pobreza y las oportunidades para una mayor implementación de las SbN. La seguridad hídrica en el diálogo sobre la seguridad alimentaria debe expandirse completamente más allá de su excesivo enfoque *business-as-usual* sobre el riego. Las oportunidades para mejorar la eficiencia del uso del agua de riego a través de enfoques de infraestructura gris (por ejemplo, riego por goteo) y medidas por el lado de la demanda (como los cultivos más apropiados para cada localidad, desbloquear oportunidades para abordar el agua virtual en el comercio de alimentos, la mejora de la productividad, etc.) son bien reconocidos, como lo es el alcance para la expansión del regadío en algunas áreas.

Pero, como se mencionó anteriormente, las mayores oportunidades se encuentran en la mejora de la disponibilidad/suministro de agua a través de la adopción más generalizada de las SbN, particularmente en sistemas de secano, con ganancias complementarias logradas con los resultados de la mejora de la calidad del agua y de reducción del riesgo. Si bien algunos foros de políticas reconocen estas oportunidades (por ejemplo, FAO, 2011b, 2014a), otros continúan subestimando la importancia de los ecosistemas. El diálogo sobre el “nexo agua-energía-alimentación” (FAO, 2014c) es un ejemplo conspicuo donde



los ecosistemas necesitan integrarse más explícitamente (como un "nexo agua-ecosistema-energía-alimentación ")-, porque los ecosistemas determinan muchas de las interconexiones clave entre el agua, la energía y la alimentación, y las SbN ofrecen un medio fundamental para reconciliar los intereses potencialmente competidores implicados (Prólogo y Capítulo 2).

Los análisis de escenarios han demostrado consistentemente que, en muchas áreas, el camino hacia la sostenibilidad, no solo mejorada sino también a la prosperidad económica a largo plazo, pasa por la integración total de la sostenibilidad ambiental. Un resultado muy positivo del análisis preliminar del escenario de recursos hídricos emprendido por Burek et al. (2016) es que el camino de la *sostenibilidad*[19] ofrece no solo mejores resultados ambientales, de agua y seguridad alimentaria, sino también, contrariamente a algunas creencias, los mayores y más rápidos beneficios a mediano plazo en términos de desarrollo económico. Por ejemplo, en el escenario alternativo de *rivalidad regional* [20], el PIB global alcanza un máximo de 220 billones de dólares para el año 2100, pero es de 570 billones de dólares bajo el escenario *prudencial*[21] , y de 650 billones de dólares en el escenario de *sostenibilidad*, con un patrón similar para el PIB per cápita. Esto es coherente con las conclusiones contemporáneas de que la sostenibilidad ambiental no es una restricción para el desarrollo social y económico, sino un requisito para lograrlo. Las SbN ofrecen un medio entendible y práctico para poner en marcha la política y la gestión de los recursos hídricos para lograr este fin.

[19] El escenario de Sostenibilidad describe un mundo que avanza relativamente bien hacia la sostenibilidad, con esfuerzos sostenidos para lograr los objetivos de desarrollo, a la vez que reduce la intensidad del consume de los recursos y la dependencia de los combustibles fósiles.

[20] En el escenario de la rivalidad regional, el mundo está separado en regiones caracterizadas por la pobreza extrema, bolsas de riqueza moderada y una gran cantidad de países que se esfuerzan por mantener los niveles de vida de una población cada vez mayor. Los países se centran en alcanzar los objetivos de energía y seguridad alimentaria dentro de su propia región, y el comercio internacional, incluidos los mercados de recursos energéticos y agrícolas, están severamente restringidos.

[21] El escenario prudencial asume que el desarrollo mundial está progresando con arreglo a tendencias y paradigmas del pasado, de manera tal que las tendencias sociales, económicas y tecnológicas no cambian de manera notable respecto a los patrones históricos (es decir, escenario sin cambios).

## 7.4 Cumplimiento de la agenda 2030 para el desarrollo sostenible mediante las SbN para la gestión de los recursos hídricos

Este informe concluye que las SbN tienen un gran potencial para hacer frente a los desafíos actuales y futuros de la gestión de los recursos hídricos, como se refleja en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, los ODS y sus metas.

En las Tablas 7.1 y 7.2 se proporciona un resumen de las conclusiones obtenidas en los capítulos 1 al 5 con respecto a la potencialidad de que las SbN contribuyan a los ODS y sus metas. La Tabla 7.1 resume la contribución potencial de las SbN a cada uno de los objetivos en materia de agua en el ODS 6 sobre agua y saneamiento, en relación con las opciones que no son de SbN para lograr el mismo objetivo. Dado que el agua respalda a la mayoría de los aspectos sociales y económicos de los ODS, es ampliamente reconocido como la transversalidad existente en la mayoría de los ODS y sus metas. Por lo tanto, las contribuciones de las SbN al ODS 6 se traducen en mayores beneficios relacionados con el agua para otros ODS y sus metas, unido a las contribuciones de las intervenciones que no son de SbN. Estos vínculos son demasiado complejos como para incluirlos en la Tabla 7.1, pero ONU-Agua (2016a) y el siguiente Informe de Síntesis de ONU-Agua sobre el ODS 6 (que se publicará a mediados de 2018) los examinarán en mayor profundidad. Los beneficios colaterales no relacionados con el agua que también proporcionan las SbN, así como las formas en que estas ayudan a lograr otros ODS y sus metas, se resumen en la Tabla 7.2.

Las SbN ofrecen un alto potencial para contribuir a alcanzar la mayoría de las Metas del ODS 6 (Tabla 7.1). Las áreas en las que esta contribución se traduce en impactos positivos particularmente sorprendentes en otros ODS son en relación con la seguridad hídrica para apuntalar la agricultura sostenible (ODS 2, de manera notable la Meta 2.4), vidas saludables (ODS 3), construcción de infraestructura resiliente (relacionada con el agua) (ODS 9), asentamientos urbanos sostenibles (ODS 11) y reducción del riesgo de desastres (ODS 11 y, en relación con el cambio climático, 13).

Una ventaja significativa de las SbN son los beneficios colaterales que ofrecen, más allá de los resultados inmediatos de la gestión del agua. Estos incluyen la mejora de la resiliencia general del sistema y los beneficios sociales y económicos asociados con la mejora de los valores económicos, culturales, recreativos y estéticos de los paisajes mejorados, así como la conservación de la naturaleza. Estos beneficios pueden ser sustanciales y deben incluirse en las evaluaciones, los análisis de costo-beneficio y, en consecuencia, las políticas y la toma de decisiones. Algunas áreas donde estos beneficios colaterales ofrecen recompensas particularmente altas en términos de lograr los ODS (Tabla 7.2) se relacionan con: otros aspectos de la promoción de la agricultura sostenible (ODS 2); energía sostenible (ODS 7); la promoción del crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos (ODS 8); otros aspectos de hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles (ODS 11); asegurar patrones de consumo y producción sostenibles (ODS 12); tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos (ODS 13); y, en particular, mediante la promoción de mejores resultados ambientales generales y la detención y reversión de la degradación del suelo y la pérdida de la biodiversidad (ODS 14 y 15). Las SbN también ofrecen oportunidades significativas para fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Global para el Desarrollo Sostenible (ODS 17).

## 7.5 Conclusiones

La naturaleza de la relación entre los ecosistemas, la hidrología y el bienestar humano no debe ser tan precaria como se evidencia en ciertos casos de la historia antigua y reciente. Mientras la humanidad traza su curso a través del Antropoceno, la adopción de las SbN no solo es necesaria para mejorar los resultados de gestión del agua y lograr la seguridad hídrica, también es fundamental para garantizar la entrega de beneficios colaterales que son esenciales para todos los aspectos del desarrollo sostenible. Aunque las SbN no son una panacea, jugarán un papel primordial en la construcción de un futuro mejor, más brillante, más seguro y más equitativo para todos.

**Tabla 7.1** La potencial contribución de las SbN para lograr las metas del ODS 6 sobre agua y saneamiento y su potencial para contribuir a otras metas*

| ODS 6: Garantizar la disponibilidad del agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos<br><br>Metas | Potencial de las SbN para contribuir a la meta | Ejemplos de SbN | Potencial de las SbN para contribuir a otras metas del ODS 6 |
|---|---|---|---|
| **6.1** Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable segura y asequible para todos | Alto | Gestión de cuencas hidrográficas, incluidas las prácticas agrícolas de conservación; captación de agua; infraestructura verde urbana | Alto<br><br>6.3, 6.4, 6.6 |
| **6.2** Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y a las personas en situaciones de vulnerabilidad. | Medio | Sanitarios secos, humedales construidos | Medio<br><br>6.1, 6.3, 6.6 |
| **6.3** Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando los vertidos y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial. | Alto | Humedales construidos, infraestructura verde urbana, gestión de cuencas (incluida la gestión de tierras agrícolas), zonas de amortiguación ribereñas, cursos de agua con vegetación y humedales | Medio<br><br>6.1, 6.4 donde se reutiliza el agua residual), 6.6 |
| **6.4** Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que padecen falta de agua. | Muy alto | Las SbN que mejoran la disponibilidad de agua del suelo para los cultivos de secano (por ejemplo, agricultura de conservación, etc.) | Muy alto<br><br>6.1, 6.3, 6.6 |
| | Alto | Captación de agua, usos conjuntos de aguas subterráneas y superficiales, mayor recarga de aguas subterráneas a través de la mejora de la gestión de la tierra, infraestructura verde urbana (p. ej., pavimentos permeables, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)) | Alto<br><br>6.1, 6.3, 6.6 |
| **6.5** Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda. | Alto | Implementación de las SbN a mayor escala que promuevan la colaboración entre los actores, p. ej., restauración de cuencas hidrográficas | Alto<br><br>6.1, 6.3, 6.6 |
| **6.6** Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos. | - | Todas. La Meta 6.6 es principalmente la aplicación de SbN<br><br>Las Metas de los ODS se refieren a sus respectivos Objetivos. Por lo tanto, en este contexto, el objetivo principal de proteger y restaurar los ecosistemas relacionados con el agua es apoyar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. Es decir, la Meta 6.6 se refiere a implementar las SbN como se define en el presente informe. La protección y restauración de los ecosistemas para otros objetivos, más allá de los resultados de los recursos hídricos, se contemplan en los beneficios colaterales de las SbN en la Tabla 7.2. | - |
| **6.a** Para el año 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la capacitación en actividades y programas relacionados con el agua y el saneamiento, incluyendo los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización. | Alto | Las SbN como un elemento clave de apoyo al desarrollo de capacidades y la expansión de la cooperación internacional | - |
| **6.b** Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y | Alto | | - |

* El potencial se evalúa con respecto a cómo las SbN pueden contribuir frente a otros medios para lograr la misma meta.

**Tabla 7.2** **La potencial contribución de las SbN (para el agua) a otros ODS y sus metas mediante la entrega de beneficios colaterales no relacionados con el agua**

| ODS y Meta | Beneficio potencial logrado a través de las SbN | Ejemplos |
|---|---|---|
| **ODS 1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo**<br>1.5 ... fomentar la resiliencia de los pobres y las personas que se encuentran en situaciones vulnerables y reducir su exposición y vulnerabilidad a los fenómenos extremos relacionados con el clima y otras crisis y desastres económicos, sociales y ambientales | Alto | Las SbN brindan servicios ecosistémicos no relacionados con el agua que contribuyen a aumentar la resiliencia de los pobres y la resiliencia general del sistema; tal como la reforestación reduce los deslizamientos de tierra, los ecosistemas proporcionan fuentes de alimentos en tiempos de crisis |
| **ODS 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible**<br>2.4 ... asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra. | Muy alto | Los beneficios colaterales de las SbN no relacionados con el agua para el suministro de agua en la agricultura (p. ej., a través de la agricultura de conservación y restauración del paisaje) son importantes e incluyen la regulación de plagas y enfermedades, los ciclos de nutrientes, la regulación del suelo, la polinización, etc. Todos ellos contribuyen al aumento de la sostenibilidad, productividad y resiliencia general del sistema. |
| **ODS 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos a todas las edades**<br>3.3 ... poner fin a las epidemias de malaria y … luchar contra las enfermedades transmitidas por el agua ... | Moderado | Los ecosistemas saludables, fomentados mediante las SbN, contribuyen a controlar los parásitos y las enfermedades transmitidas por el agua |
| **ODS 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos**<br>7.3 ... duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética | Moderado | Las SbN para mejorar la calidad del agua reducen los requerimientos de energía para el posterior tratamiento del agua |
| **ODS 8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos**<br>8.4 Mejorar progresivamente, para el 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente ... | Alto | Las SbN aplicadas a escala reinstalan retroalimentaciones positivas entre el crecimiento económico y el medio ambiente |
| **ODS 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación**<br>9.4 ... mejorar la infraestructura y reajustar las industrias para que sean sostenibles, usando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, logrando que todos los países adopten medidas de acuerdo con sus respectivas capacidades | Alto | Las SbN promueven la infraestructura verde – la cual incrementa la eficiencia en el uso de los recursos y tecnologías limpias y ambientalmente racionales. Un enfoque especialmente adecuado para países con poca capacidad y recursos financieros limitados. |
| **ODS 11. Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles**<br>11.7 ... proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles ...<br>11.a ... apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales mediante el fortalecimiento de la planificación del desarrollo nacional y regional<br>11.b ... aumentar sustancialmente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación y adaptación al cambio climático y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar e implementar, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles<br>11.c Proporcionar apoyo a los países menos desarrollados, inclusive mediante asistencia técnica y financiera, para que puedan construir edificios sostenibles y resilientes utilizando materiales locales | Alto | Infraestructura verde dentro de áreas urbanas. Implementar las SbN en cuencas hidrográficas urbanas para vincular la planificación urbana y periurbana (y a escala de captación) con el fin de lograr asentamientos seguros, resilientes y sostenibles – particularmente apropiados para los países en desarrollo. |

| | | |
|---|---|---|
| **ODS 12. Garantizar modalidades de consumo y protección sostenibles**<br>12.1 Implementar el Marco Decenal de Programas sobre Consumo y Producción Sostenibles ...<br>12.2 ... lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales<br>12.5 ... disminuir de manera sustancial la generación de desechos mediante políticas de prevención, reducción, reciclaje y reutilización ...<br>12.7 ... promover prácticas de contratación pública que sean sostenibles, de conformidad con las políticas y prioridades nacionales | Alto | Las SbN son un medio clave para la implementación del Marco Decenal. Son particularmente eficaces para promover el consumo sostenible de recursos (por ejemplo, de productos químicos, fertilizantes y tierras) en la agricultura |
| **ODS 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos**<br>13.1 ... fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países<br>13.2 ... incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales | Alto | Además de las contribuciones significativas para fortalecer la resiliencia a los riesgos relacionados con el agua (considerados en el Objetivo 6 de la Tabla 7.1), Las SbN contribuyen a mejorar la capacidad de adaptación y la capacidad general del sistema. Las SbN también ayudan a mitigar el cambio climático a través de un mejor secuestro de carbono mediante la reforestación y la rehabilitación del carbono orgánico del suelo. También contribuyen a la integración de las políticas, las estrategias y la planificación del cambio climático en todos los sectores. |
| **ODS 14. Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible**<br>14.1 ... prevenir y reducir de manera significativa la contaminación marina de todo tipo, en particular la contaminación producida por actividades realizadas en tierra firme, incluidos los detritos marinos y la contaminación por nutrientes ...<br>14.2 ... gestionar y proteger de manera sostenible los ecosistemas marinos y costeros ... fortalecer su resiliencia y adoptar medidas para restaurarlos ... | Moderado a alto | Las SbN para la reducción de los efectos de la contaminación de las actividades realizadas en tierra firme son altas y, debido a que se miden a través del agua, están comprendidas en el Objetivo 6 anteriormente mencionado – un ejemplo notable es la reducción de los aportes de nutrientes de la agricultura.<br>Las SbN aplicadas en áreas costeras, como por ejemplo en la restauración de bosques costeros y/o humedales, tienen un potencial significativo para mejorar la resiliencia de los ecosistemas costeros. |
| **ODS 15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una gestión sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de diversidad biológica**<br>Todas las metas | Muy alto | Uno de los beneficios colaterales más importantes de las SbN es la forma en que apoyan al Objetivo 15 al contribuir a la conservación, la restauración y el uso sostenible de los ecosistemas (meta 15.1), incluidos los bosques (meta 15.2) y las montañas (meta 15.4), siendo los principales medios para luchar contra la desertificación (meta 15.3), salvaguardar los hábitats naturales (meta 15.5) y apoyar la integración de los valores de biodiversidad (meta 15.9), y son los principales medios para movilizar el financiamiento para la conservación de la biodiversidad (objetivos 15a y 15b). |
| ***Alianzas multiactores***<br>17.16 ... fortalecer la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible, complementada por alianzas multiactores ...<br>17.17 ... alentar y promover la constitución de alianzas eficaces en la esfera pública, público-privada y de la sociedad civil, aprovechando la experiencia y las estrategias de obtención de recursos de las alianzas | Intermedio | Las SbN promueven la integración de todos los intereses de los actores, fomentando alianzas y contribuyendo a identificar vínculos que se refuerzan mutuamente entre los pilares sociales, económicos y ambientales del desarrollo sostenible. |

# REFERENCIAS


A

Abell, R., Asquith, N., Boccaletti, G., Bremer, L., Chapin, E., Erickson-Quiroz, A., Higgins, J., Johnson, J., Kang, S., Karres, N., Lehner, B., McDonald, R., Raepple, J., Shemie, D., Simmons, E., Sridhar, A., Vigerstøl, K., Vogl, A. and Wood, S. 2017. *Beyond the Fuente: The Environmental, Economic, and Community Benefits of Source Water Protection*. Arlington (Va.), EE.UU., The Nature Conservancy (TNC). www.nature.org/beyondthesource.

Aceves-Bueno, E., Adeleye, A. S., Bradley, D., Brandt, W. T., Callery, P., Feraud, M., Garner, K. L., Gentry, R., Huang, Y., McCullough, I., Pearlman, I., Sutherland, S. A., Wilkinson, W., Yang, Y., Zink, T., Anderson, S. E. and Tague, C. 2015. Citizen science as an approach for overcoming insufficient monitoring and inadequate stakeholder buy-in in adaptive management: Criteria and evidence. *Ecosystems*, Vol. 18, No. 3, págs. 493–506. doi.org/10.1007/s10021-015-9842-4.

Acreman, M. 2001. Ethical aspects of water and ecosystems. *Water Policy*, Vol. 3, No. 3, págs.. 257–265. doi.org/10.1016/S1366-7017(01)00009-5.

Acreman, M. C. and Mountford, J. O. 2009. Wetland management. R. Ferrier and A. Jenkins (eds.), *Handbook of Catchment Management*. Oxford, Reino Unido, Blackwell Publishing.

AEDSAW (Association for Environmental and Developmental Studies in the Arab World). *2002. AEDSAW Activities at WOCMES 2002, Mainz, Alemania*. sitio web de la AEDSAW. almashriq.hiof.no/general/300/360/363/363.7/aedsaw/wocmes-2002.html.

AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente).2016. *Green Roofs in Basel, Switzerland: Combining Mitigation and Adaptation Measures (2015)*. Climate-ADAPT, Plataforma europea de adaptacion al cambio climatico, AEMA. climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/green-roofs-in-basel-switzerland-combining-mitigation-and-adaptation-measures-1.

AGNU (Asamblea General de las Naciones Unidas). 2016. *Borrador de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible (Habitat III)*, Quito, 17-20 de octubre de 2016. nua.unhabitat.org/uploads/DraftOutcomeDocumentofHabitatIII_en.pdf.

AIE (Agencia Internacional de Energia). 2012. Capitulo 17. Water for energy: Is energy becoming a thirstier resource? *World Energy Outlook 2012*. Paris, AIE. www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2012_free.pdf.

Alexandratos, N. and Bruinsma, J. 2012. *World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision*. Documento de trabajo de la ESA No. 12-03. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) www.fao.org/docrep/016/ap106e/ap106e.pdf.

Allan, J. A. 2003. *IWRM/IWRAM: A New Sanctioned Discourse?* Documento ocasional No. 50. Londres, Escuela de estudios orientales y africanos (SOAS), Water Issues Study Group, Universidad de Londres.

Alvizuri, J., Cataldo, J., Smalls-Mantey, L. A. and Montalto, F. A. 2017. Green roof thermal buffering: Insights derived from fixed and portable monitoring equipment. *Energy and Buildings*, Vol. 151, págs. 455–468. doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.020.

ANA (Agéncia Nacional de Água). 2011. ANA *abre seleção para projetos de conservação de água e sólo* [ANA convoca concursos para proyectos sobre la conservación del agua y el suelo]. sitio web de la ANA. www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=9304. (en portugués.)

Andréssian, V. 2004. Aguas y bosques: de la controversia histórica al debate científico. *Journal of Hydrology*, Vol. 291, No. 1–2, págs. 1–27. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.015.

Ansar, A., Flyvbjerg, B., Budzier, A. and Lunn, D. 2014. Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. *Energy Policy*, Vol. 69, No. 43–56. doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.069.

AQUASTAT. n.d. sitio web de AQUASTAT. FAO. fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm (consultado en julio de 2017).

Aragão, L. E. O. C. 2012. Environmental Science: The rainforest's water pump. *Nature*, Vol. 489, págs. 217–218. doi.org/10.1038/nature11485.

Atkinson, G. and Pearce, D. 1995. Measuring sustainable development. D. W. Bromley (ed.), *Handbook of Environmental Economics. Oxford*, UK, Wiley-Blackwell.

Avellán, C. T., Ardakanian, R. and Gremillion, P. 2017. The role of artificial wetlands for biomass production within the water-soil-waste nexus. *Water Science and Technology*, Vol. 75, No. 10, págs. 2237–2245. doi.org/10.2166/wst.2017.106.

Aylward, B., Bandyopadhyay, J. and Belausteguigotia, J. 2005. Freshwater Ecosystem Services. *Evaluación de los ecosistemas para el milenio, Ecosystems and Human Well-being: Policy Responses.* Washington DC, Island Press. www.millenniumassessment.org/documents/document.312.aspx.pdf.

B

Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M. J., Aviles-Vazquez, K., Samulon, A. and Perfecto, I. 2007. Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems*, Vol. 22, No. 2, págs. 86–108. doi.org/10.1017/S1742170507001640.

Banco Mundial. 2009. *Convenient Solutions to an Inconvenient Truth: Ecosystem-Based Approaches to Climate Change*. Washington DC, Banco Mundial. siteresources.worldbank.org/ENVIRONMENT/Resources/ESW_EcosystemBasedApp.pdf.

_____. n.d. WAVES sitio web (Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services). www.wavespartnership.org (Accessed July 2017). Comision Mundial sobre Presas. 2000. *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making*. The Report of the World Commission on Dams. Londres/Sterling, EE.UU, Earthscan. www.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/world_commission_on_dams_final_report.pdf.

Baker, T., Kiptala, J., Olaka, L., Oates, N., Hussain, A. and McCartney, M. 2015. *Baseline Review and Ecosystem Services Assessment of the Tana River Basin*, Kenya. Documento de trabajo No. 165. Colombo Instituto Internacional de Gestión del Agua (IWMI). doi.org/10.5337/2015.223.

Barton, M. A. 2016. *Nature-Based Solutions in Urban Contexts: A Case Study of Malmö, Sweden.* Tesis de master. Lund, Suecia, Instituto Internacional de Economía Industrial y del Medio Ambiente (IIIEE). lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=8890909&fileOId=8890910.

BAsD (Banco Asiatico de Desarrollo). 2013. Asian *Water Development Outlook 2013: Measuring Water Security in Asia and the Pacific*. Mandaluyong City, Philippines, BAsD. www.adb.org/sites/default/files/publication/30190/asian-water-developmentoutlook-2013.pdf.

_____. 2015. *Nature-Based Solutions for Sustainable and Resilient Mekong Towns, Volume 1 of the Resource Kit for Building Resilience and Sustainability in Mekong Towns*. Preparado por el International Centre for Environmental Management (ICEM) para el Banco Asiatico de Desarrollo y el Fondo Nordico de Desarrollo.. Manila, BAsD. www.adb.org/sites/default/files/publication/215721/nature-based-solutions.pdf.

Batker, D., De la Torre, I., Costanza, R., Swedeen, P., Day, J., Boumans, R. and Bagstad, K. 2010. *Gaining Ground. Wetlands, Hurricanes and the Economy: The Value of Restoring the Mississippi River Delta. Earth Economics Project Report.* Tacoma, Wash., Earth Economics.

Beatley, T. 2011. *Biophilic Cities: Integrating Nature into Urban Design and Planning*. Washington DC, Island Press.

Bedford, B. L. and Preston, E. M. 1988. Developing the scientific basis for assessing cumulative effects of wetland loss and degradation on landscape functions: Status, perspectives, and prospects. *Environmental Management,* Vol. 12, No. 5, págs. 751–771. doi.org/10.1007/BF01867550.

Benedict, M. A. and McMahon, E. T. 2001. *Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century*. Washington DC, Sprawl Watch Clearinghouse. www.sprawlwatch.org/greeninfrastructure.pdf.

Bennett, G., Nathaniel, C. and Hamilton, K. 2013. *Charting New Waters: State of Watershed Payments 2012.* Washington DC, Forest Trends. www.forest-trends.org/documents/files/doc_3308.pdf.

Bennett, G. and Ruef, F. 2016. *Alliances for Green Infrastructure: State of Watershed Investment 2016*. Washington DC, Forest Trends' Ecosystem Marketplace. www.forest-trends.org/documents/files/doc_5463.pdf.

Beschta, R. L. and Kauffman, J. B. 2000. Restoration of riparian systems: Taking a broader view. J. P. J. Wigington and R. L. Beschta (eds.), *Riparian Ecology and Management in Multi-Land Use Watersheds.* Middleburg (Va.), EE.UU, American Water Resources Association (AWRA), págs. 323–328.

Bezabih, M., Ruhinduka, R. and Sarr, M. 2016. *Climate Change Perception and System of Rice Intensification (SRI) Impact on Dispersion and Downside Risk: A Moment Approximation Approach*. Leeds/Londres, Reino Unido, Centre for Climate Change Economics and Policy/ Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2016/11/Working-Paper-256-Bezabih-et-al.pdf.

Bilotta, G. S., Krueger, T., Brazier, R. E., Butler, P., Freer, J., Hawkins, J. M. B., Haygarth, P. M., Macleod, C. J. and Quinton, J. 2010. Assessing catchment-scale erosion and yields of suspended solids from improved temperate grassland. *Journal of Environmental Monitoring,* Vol. 12, No. 3, págs. 731–739. doi.org/10.1039/b921584k.

Bockheim, J. G. and Gennadiyev, A. N. 2010. Soil-factorial models and earth-system science: A review. *Geoderma*, Vol. 159, No. 3-4, págs. 243–51. doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.005.

Borg, H., Stoneman, G. L. and Ward, C. G. 1988. The effect of logging and regeneration on groundwater, streamflow and stream salinity in the southern forest of Western Australia. *Journal of Hydrology,* Vol. 99, No. 3–4, págs. 253–270. doi.org/10.1016/0022-1694(88)90052-2.

Bossio, D., Geheb, K. and Critchley, W. 2010. Managing water by managing land: Addressing degradación del suelo to improve water productivity and rural livelihoods. *Agricultural Water Management*, Vol. 97, No. 4, pp. 536–542. doi.org/10.1016/j.agwat.2008.12.001.

Bossio, D., Noble, A., Molden, D. and Nangia, V. 2008. Land degradation and water productivity in agricultural landscapes. D. Bossio and K. Geheb (eds.), *Conserving Land, Protecting Water.* Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series 6. Wallingford, Reino Unido/Colombo, Centre for Agriculture and Bioscience (CAB) International/ Instituto Internacional de Gestión del Agua (IWMI). www.iwmi.cgiar.org/Publications/CABI_Publications/CA_CABI_Series/Conserving_Land_Protecting_Water/protected/9781845933876.pdf.

Brix, H., Koottatep, T., Fryd, O. and Laugesen, C. H. 2011. The flower and the butterfly constructed wetland system at Koh Phi Phi: System design and lessons learned during implementation and operation. *Ecological Engineering*, Vol. 37, No. 5, págs. 729 –735. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.06.035.

Brown, G. and Fagerholm, N. 2015. Empirical PPGIS/PGIS mapping of ecosystem services: A review and evaluation. *Ecosystem Services*, Vol. 13, págs. 119–133. doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.10.007.

Bullock, A. and Acreman, M. C. 2003. The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 7, No. 3, págs. 75–86. doi.org/10.5194/hess-7-358-2003.

Bünemann, E. K., Schwenke, G. D. and Van Zwieten, L. 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms: A review. *Australian Journal of Soil Research*, Vol. 44, págs. 379–406. doi.org/10.1071/SR05125.

Burek, P., Mubareka, S., Rojas, R., De Roo, A., Bianchi, A., Baranzelli, C., Lavalle, C. and Vandecasteele, I. 2012. *Evaluation of the Effectiveness of Natural Water Retention Measures: Support to the EU Blueprint to Safeguard Europe's Waters*. JRC Scientific and Policy Reports. Luxemburgo, Comisión Europea/Centro común de investigación/Instituto de medio ambiente y sostenibilidad (CE/CCI/IES) ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/EUR25551EN_JRC_Blueprint_NWRM.pdf.

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. and Wiberg, D. 2016. *Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report)*. IIASA Working Paper. Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). pure.iiasa.ac.at/13008/.

Buytaert, W., Zulkafli, Z., Grainger, S., Acosta, L., Alemie, T. C., Bastiaensen, J., De Bièvre, B., Bhusal, J., Clark, J., Dewulf, A., Foggin, M., Hannah, D. M., Hergarten, C., Isaeva, A., Karpouzoglou, T., Pandeya, B., Paudel, D., Sharma, K., Steenhuis, T., Tilahun, S., Van Hecken, G. and Zhumanova, M. 2014. Citizen science in hydrology and water resources: Opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. *Frontiers in Earth Science*, Vol. 2, No. 26. doi.org/10.3389/feart.2014.00026.



Calvache, A., Benítez, S. and Ramos, A. 2012. *Water Funds: Conserving Green Infrastructure. A Guide for Design, Creation and Operation.* Bogotá, Latin American Water Funds Partnership/The Nature Conservancy (TNC)/FEMSA Foundation/Banco Interamericano de Desarrollo (BID). www.nature.org/media/freshwater/latin-america-water-funds.pdf.

Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G. M., Tilman, D., Wardle, D. A., Kinzing, A. P., Daily, G. C., Loreau, M., Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S. and Naeem, S. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, Vol. 486, págs. 59–67. doi.org/10.1038/nature11148.

Carrão, H., Naumann, G. and Barbosa, P. 2016. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. *Global Environmental Change*, Vol. 39, pp. 108–124. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.04.012.

CBI (Climate Bonds Initiative). 2017. *Green Bonds Policy: Highlights from 2016*. CBI. www.climatebonds.net/files/reports/cbi-policy-roundup-2016.pdf.

_____. n.d. *Boosting Demand: Mandates for Domestic Funds, Quantitative Easing*. sitio web de la. www.climatebonds.net/policy/policy-areas/boosting-demand.

CDB (Convenio sobre la Diversidad Biológica). 1992. *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Río de Janeiro, Brasil, 5 de junio de 1992. www.cbd.int/convention/text/default.shtml.

_____. 2010. *Decisión adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica en su décima reunión*. Nagoya, Japón, 18-29 de octubre de 2010. www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-en.pdf.

_____. 2015. *Cuestiones científicas y técnicas estratégicas igadas a la puesta en práctica del Plan estratégico para la biodiversidad 2011-2020: biodiversidad, sistemas alimentarios y agricultura.* Decimonovena reunión del órgano subsidiario sobre asesoramiento científico, técnico y tecnológico. Montreal, Canadá, CDB. www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-20/information/sbstta-20-inf-49-en.pdf.

CE (Comision Europea). 2013a. I*nforme de la Comision al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la aplicacion de la directiva 91/676/CEE del Consejo sobre proteccion de las aguas contra la contaminacion causada por los nitratos procedentes de fuentes agricolas, en base a los informes de los Estados miembros para el periodo 2008-2011*. Bruselas, CE. eur-lex.europa.eu/legalcontent/en/TXT/?uri=CELEX%3A52013DC0683.

_____. 2013b. *Infraestructura verde: Reforzar el capital natural de Europa*. Comunicacion de la Comision al Parlamento Europeo, el Consejo, el Comite Economico y Social Europeo y el Comite de las Regiones. COM/2013/0249 final. Bruselas, CE. eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52013DC0249.

_____. 2014. *EU Policy Document on Natural Water Retention Measures by the Drafting Team of the WFD CIS Working Group Programme of Measures (WG PoM)*. Informe tecnico 2014 No. 082. Luxemburgo, Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. doi.org/10.2779/227173.

_____. 2015. *Towards an EU Research and Innovation Policy Agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities. Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on 'Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities'.* Bruselas, CE. publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fb117980-d5aa-46df-8edc-af367cddc202.

_____. 2017a. *Report on the Implementation of Direct Payments [Outside Greening]* – Claim Year 2015. EC.

_____. 2017b. *An Action Plan for Nature, People and the Economy.* Comunicacion de la Comision al Parlamento Europeo, el Consejo, el Comite Economico y Social Europeo y el Comite de las Regiones. COM(2017) 198 final. Bruselas, CE. ec.europa.eu/environment/nature/legislation/fitness_check/action_plan/communication_en.pdf.

CEPAL (Comision Economica de las Naciones Unidas para America Latina y el Caribe 2015. *Peru's Compensation Mechanisms for Ecosystem Services Act*. Network for Cooperation in Integrated Water Resource Management for Sustainable Development in Latin America and the Caribbean, Circular No. 41. Santiago, CEPAL. repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37850/S1421023_es.pdf.

CESPAP (Comision Economica y Social de las Naciones Unidas para Asia y el Pacifico). 2017. *Shifting towards Water-Resilient Infrastructure and Sustainable Cities*. ESCAP Knowledge Hub for Sustainable Development. E-learning course. sustdev.unescap.org/course/detail/9 (Consultado en julio de 2017).

CESPAP/UNISDR (Comision Economica y Social de las Naciones Unidas para Asia y el Pacifico/Oficina de las Naciones Unidas para la Reduccion del Riesgo de Desastres). 2012. *Reducing Vulnerability and Exposure to Disasters. The Asia-Pacific Disaster Report 2012*. CESPAP/UNISDR. www.unisdr.org/files/29288_apdr2012finallowres.pdf.

CFS (Committee on World Food Security). 2014. *Principles for Responsible Investment in Agriculture and Food Systems*. CFS forty-first session: Making a difference in food security and nutrition. Rome, CFS. www.fao.org/fileadmin/templates/cfs/Docs1314/rai/CFS_Principles_Oct_2014_EN.pdf.

CGIAR WLE (CGIAR Programa de investigación del CGIAR sobre el agua, la tierra y los ecosistemas). 2017. *Re-Conceptualizing Dam Design and Management for Enhanced Water and Food Security*. Towards Sustainable Intensification: Insights and Solutions Brief No. 3. Colombo, Instituto Internacional de Gestión del Agua (IWMI)/CGIAR. doi.org/10.5337/2017.212.

Chappell, N. A. 2005. Water pathways in humid forests: Myths vs. observations. Suiri Kagaku, Vol. 48, No. 6, págs. 32–46.

Chaturvedi, V., Hejazi, M., Edmonds, J., Clarke, L., Kyle, P., Davies, E. and Wise, M. 2013. Climate mitigation policy implications for global irrigation water demand. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Chang*e, 1–19.

Chen, L., Wang, J., Wei, W., Fu, B. and Dongping, W. 2010. Effects of landscape restoration on soil water storage and water use in the Loess Plateau Region, China. *Forest Ecology and Management,* Vol. 259, No. 7, págs. 1291–1298. doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.025.

Chiramba, T., Mogoi, S., Martinez, I. and Jones, T. 2011. *Payment for Environmental Services Pilot Project in Lake Naivasha Basin, Kenya: A Viable Mechanism for Watershed Services that Delivers Sustainable Natural Resource Management and Improved Livelihoods.* Presentado en la conferencia internacional de ONU-Agua "El agua en la economía verde en la práctica: hacia Río+20", Zaragoza, España, 3-5 de octubre de 2011. www.imarisha.le.ac.uk/sites/default/files/PES%20%28UN-WATER%2c2011%29.pdf.

Ciudad de Nueva York. 2008. *PlanNYC: Sustainable Stormwater Management Plan 2008. A Greener, Greater New York*. Nueva York, oficina del alcalde de planificacion y sostenibilidad a largo plazo. www.nyc.gov/html/planyc/downloads/pdf/publications/nyc_sustainable_stormwater_management_plan_final.pdf.

CMNUCC (Convencion Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climatico). 1992. *Convencion Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climatico*. unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/conveng.pdf.

_____. 2015. *Adopcion del Acuerdo de Paris. Proposal by the President*. Conference of the Parties, Twenty-first session, Paris, 30 de noviembre-11 de diciembre de 2015. unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf.

CNUDS (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible). 2012 .*El futuro que queremos*. Resultados de la conferencia, Punto 10 de la Agenda. Río de Janeiro, Brasil, 20–22 de junio de 2012. rio20.un.org/sites/rio20.un.org/files/a-conf.216l-1_english.pdf.pdf.

CNULD (Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación). 1994. *Convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la desertificación en los países que padecen graves sequías y/o desertificación, en particular en África.* París, 17 de junio de 1994. www2.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/2017-01/CNULD_Convention_ENG_0.pdf.

CNULD Interfaz Ciencia-Política. 2016. *Land in Balance: The Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality (LND)*. Science-Policy Brief No. 2. Bonn, Alemania, CNULD. www.uncclearn.org/sites/default/files/inventory/18102016_spi_pb_multipage_eng_1.pdf.

Coates, D. and Smith, M. 2012. Natural infrastructure solutions for water security. R. Ardakanian and D. Jaeger (eds.), Water and the *Green Economy: Capacity Development Aspects.* Bonn, Alemania, Programa de ONU-Agua para el desarrollo de la Capacidad en el marco del Decenio, págs. 167–188.

Coates, D., Pert, P. L., Barron, J., Muthuri C., Nguyen-Khoa, S., Boelee, E. and Jarvis, D. I. 2013. Water-related ecosystem services and food security. E. Boelee (ed.), *Managing Water and Agroecosystems for Food Security*. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series No. 10. Wallingford, Reino Unido/Boston, EE.UU., CABI - Centro Internacional para la Agricultura y las Biociencias, págs. 29–41.

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (eds.). 2016. *Nature-Based Solutions to Address Global Societal Challenges.* Gland, Suiza, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza and Natural Resources (IUCN). portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-036.pdf.

Comisión Mundial sobre Presas. 2000. *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making.* The Report of the World Commission on Dams. Londres/Sterling, EE.UU, Earthscan. www.internationalrivers.org/sites/default/files/attached-files/world_commission_on_dams_final_report.pdf.

Conant, R. T. 2012. Grassland soil organic carbon stocks: Status, opportunities, vulnerability. R. Lal, K. Lorenz, R. F. Hüttl, B. U. Schneider and J. von Braun (eds.), *Recarbonization of the Biosphere*. Dordrecht, Países Bajos, Springer, págs. 275–302.

Convencion de Ramsar sobre los humedales 1971. *Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat*. Ramsar, Iran, 2 de febrero de 1971. www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/scan_certified_e.pdf.

Corno, L., Pilu, R., Cantaluppi, E. and Adani, F. 2016. Giant cane (Arundo donax L.) for biogas production: The effect of two ensilage methods on biomass characteristics and biogas potential. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 93, págs. 131–136. doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.07.017.

CRED (Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres). n.d. EM-DAT Base de datos sobre desastres internacionales. Bruselas, CRED. www.emdat.be.

CRED/UNISDR (Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres/Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres). 2015. *The Human Costs of Weather Related Disasters 1995–2015*. Bruselas/Ginebra, CRED/UNISDR. www.unisdr.org/we/inform/publications/46796.

Critchley, W. and Di Prima, S. (eds.) 2012. *Water Harvesting Technologies Revisited. Deliverable 2.1 of the FP7 Project Water Harvesting Technologies: Potentials for Innovations, Improvements and Upscaling in SubSaharan Africa*. Universidad libre de Amsterdam.

Cullen, H. M., deMenocal, P. B., Hemming, S., Brown, F. H., Guilderson, T., and Sirocko, F. 2000. Climate change and the collapse of the Akkadian empire: Evidence form the deep sea. *Geology*, Vol. 28, No. 4, págs. 379–382. doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<379:CCATCO>2.0.co;2.



Dadson, S. J., Hall, J. W., Murgatroyd, A., Acreman, M., Bates, P., Beven, K., Heathwaite, L., Holden, J., Holman, I. P., Lane, S. N., O'Connell, E., Penning-Rowsell, E., Reynard, N., Sear, D., Thorne, C. and Wilby, R. 2017. A restatement of the natural science evidence concerning catchment-based 'natural' flood management in the UK. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol. 473, No. 2199. doi.org/10.1098/rspa.2016.0706.

Dai, A. 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, Vol. 3, págs. 52–58. doi.org/10.1038/nclimate1633.

Dalin, C., Wada, Y., Kastner, T. and Puma, M. J. 2017. Groundwater depletion embedded in international food trade. *Nature*, Vol. 543, págs. 700–704. doi.org/10.1038/nature21403.

Davidson, N. C. 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, Vol. 65, No. 10, págs. 934–941. doi.org/10.1071/MF14173.

Davis, M., Krüger, I. and Hinzmann, M. 2015. *Coastal Protection and SUDS: Nature-Based Solutions*. RECREATE Policy Brief No. 4. Berlín, Instituto Ecológico. ec.europa.eu/environment/integration/green_semester/pdf/Recreate_PB_2015_SbN_final_druck10-02-2016.pdf.

Dawson, T. E. 1996. Determining water use by trees and forests from isotopic, energy balance and transpiration analyses: The roles of tree size and hydraulic lift. *Tree Physiology*, Vol. 16, No. 1-2, págs. 263–272. doi.org/10.1093/treephys/16.1-2.263.

De, A., Bose, R., Kumar, A. and Mozumdar, S. 2014. *Metaed Delivery of Pesticides Using Biodegradable Polymeric Nanoparticles*. Springer Briefs in Molecular Science. Nueva Delhi, Springer India. doi.org/10.1007/978-81-322-1689-6.

De la Varga, D., Van Oirschot, D., Soto, M., Kilian, R., Arias, C. A., Pascual, A. and Álvarez, J. A. 2017. Constructed wetlands for industrial wastewater treatment and removal of nutrients. Á. Val del Rio, J. L. Campos Gómez and A. M. Corral (eds.), *Technologies for the Treatment and Recovery of Nutrients from Industrial Wastewater*. Advances in Environmental Engineering and Green Technologies (AEEGT) Book Series. Hershey, Pa., Estados Unidos, IGI Global, págs. 202–230.

Delpla, I., Jung, A.-V., Baures, E., Clement, M. and Thomas, O. 2009. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, Vol. 35, No. 8, págs. 1225–1233. doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.001.

DEP (New York City Department of Environmental Protection). 2010. NYC *Green Infrastructure Plan: A Sustainable Strategy for Clean Waterways*. Nueva York, Departamento municipal de protección del medio ambiente. www.nyc.gov/html/dep/pdf/green_infrastructure/NYCGreenInfrastructurePlan_LowRes.pdf.

Derpsch, R. and Friedrich, T. 2009. *Global Overview of Conservation Agriculture Adoption*. Ponencia presentada en el 4o Congreso Mundial de Agricultura de Conservación, Nueva Delhi, India, febrero de 2009.

De Sousa, M. R. C., Montalto, F. A. and Gurian, P. 2016. Evaluating green infrastructure stormwater capture performance under extreme precipitation. *Journal of Extreme Events*, Vol. 3, No. 2. doi.org/10.1142/S2345737616500068.

DESA (Departamento de Asuntos Economicos y Sociales de las Naciones Unidas) . 2015. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. ST/ESA/SER.A/366. Nueva York, DESA, Division Poblacion. esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf.

_____. 2017. World Population Prospects: Key Findings and Advance Tables – The 2017 Revision. Documento de trabajo No. ESA/P/WP/248. Nueva York, DESA, Division Poblacion. esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017KeyFindings.pdf.

Dickens, C. W. S. and Graham, P. M. 2002. The South African Scoring System (SASS) Version 5: Rapid bioassessment method for rivers. *African Journal of Aquatic Science*, Vol. 27, No. 1, págs. 1–10. doi.org/10.2989/16085914.2002.9626569.

Di Giovanni, G. and Zevenbergen, C. 2017. 'Upscaling': Practice, policy and capacity building. Insights from the partners' experience. *Building with Nature Report, Interreg Vb Programme 2014–2020 for a Sustainable North Sea Region.*

Dill, J., Deichert, G. and Thu, L. T. N. (eds.). 2013. *Promoting the System of Rice Intensification: Lessons Learned from Trà Vinh Province, Viet Nam*. Agencia alemana de cooperación internacional/Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (GIZ/FIDA).

Dillon, P., Kumar, A., Kookana, R., Leijs, R., Reed, D., Parsons, S. and Ingleton, G. 2009. *Managed Aquifer Recharge: Risks to Groundwater Dependent Ecosystems* – A Review. Water for a Healthy Country Flagship Report. Land & Water Australia. Canberra, CSIRO. publications.csiro.au/rpr/download?pid=procite:9701153f-4d82-4e68-a435-e652103c73a9&dsid=DS1.

Dobbs, R., Pohl, H., Lin, D., Mischke, J., Garemo, N., Hexter, J., Matzinger, S., Palter, R. and Nanavatty, R. 2013. *Infrastructure Productivity: How to Save $1 Trillion a Year.* McKinsey Global Institute. www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/infrastructure-productivity.

Dow Chemical Company/Swiss Re/Shell/Unilever/TNC (The Nature Conservancy). 2013. *Green Infrastructure Case Studies: Case Studies Evaluated by Participating Companies for Creation of the White Paper "The Case for Green Infrastructure"*. www.nature.org/about-us/working-with-companies/case-studies-for-green-infrastructure.pdf.

DWA (Departamento de Agua y Saneamiento de Sudáfrica). n.d. *River Eco-status Monitoring Programme*. Sitio web del DWA . www.dwa.gov.za/IWQS/rhp/default.aspx.

E

Echavarria, M., Zavala, P., Coronel, L., Montalvo, T. and Aguirre, L. M. 2015. *Green Infrastructure in the Drinking Water Sector in Latin America and the Caribbean: Trends, Challenges, and Opportunities*. EcoDecision/Forest Trends/The Nature Conservancy (TNC). www.forest-trends.org/documents/files/doc_5134.pdf.

Embajada del Reino de los Países Bajos en China. 2016. *Factsheet Sponge City Construction in China*. Beijing, Reino de los Países Bajos. www.nederlandenu.nl/binaries/nl-netherlandsandyou/documenten/publicaties/2016/12/06/2016-factsheet-sponge-cities-pilot-project-china.pdf/2016-factsheet-sponge-cities-pilot-project-china.pdf.

Embid, A. and Martín, M. 2015. *La experiencia legislativa del decenio 2005-2015 en materia de aguas en América Latina* [The Legislative Experience from the Decade 2005–2015 regarding Water in Latin America]. Santiago, Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe (CEPAL). repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38947/1/S1500777_es.pdf. (en español.)

Equator Initiative. n.d. Equator Initiative website. www.equatorinitiative.org.

Eriyagama, N., Smakhtin, V. and Gamage, N. 2009. *Mapping Drought Patterns and Impacts: A Global Perspective*. IWMI Research Report No. 133. Colombo, Instituto Internacional de Gestión del Agua(IWMI). www.iwmi.cgiar.org/publications/iwmi-research-reports/iwmi-research-report-133/.

Evaluación del ecosistema del milenio, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington DC, Island Press. www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf.

Everard, M. 2015. Community-based groundwater and ecosystem restoration in semi-arid north Rajasthan (1): Socio-economic progress and lessons for groundwater-dependent areas. *Ecosystem Services*, Vol. 16, págs. 125–135. doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.10.011.

F

Faivre, N., Fritz, M., Freitas, T., De Boissezon, B. and Vandewoestijne, S. 2017. Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental Research*, Vol. 159, págs. 509–518. doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032.

Falkenmark, M. and Rockström, J. 2004. *Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology*. Londres, Earthscan.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2010. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Informe principal* FAO. Documento sobre silvicultura No. 163. Roma, FAO. www.fao.org/docrep/013/i1757e/i1757e.pdf.

_____. 2011a. *El estado de los recursos mundiales de tierra y agua para la agricultura y la alimentación: manejar los sistemas en riesgo*. /Londres, FAO/Earthscan. www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf.

_____. 2011b. *Producir más con menos: guía para los responsables políticos sobre la intensificación sostenible de la producción de los pequeños agricultore*s. Roma, FAO. www.fao.org/docrep/014/i2215e/i2215e.pdf.

_____. 2011c. *¿Por qué invertir en el desarrollo sostenible de las montañas?* Roma, FAO. www.fao.org/docrep/015/i2370e/i2370e.pdf.

_____. 2013a. *Guía de referencia de la agricultura inteligente frente al clima*. Roma, FAO. www.fao.org/docrep/018/i3325e/i3325e.pdf.

_____. 2013b. *Marco estratégico revisado*. Trigesimo octava sesión. Roma, 15-22 de junio de 2013. www.fao.org/docrep/meeting/027/mg015e.pdf.

_____. 2014a. *Construir una visión común para una alimentación y una agricultura sostenibles: Principios y enfoques*. Roma, FAO. www.fao.org/3/a-i3940e.pdf.

_____. 2014b. *Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Emisiones por usos y absorciones por pozos*. División de estadística de la FAO. Documento de trabajo serie ESS/14-02. Roma, FAO. www.fao.org/docrep/019/i3671e/i3671e.pdf.

_____. 2014c. *The Water–Energy–Food Nexus: A New Approach in Support of Food Security and Sustainable Agriculture*. Roma, FAO. www.fao.org/3/a-bl496e.pdf.

_____. 2015. *The Impact of Natural Hazards and Disasters on Agriculture and Food Security and Nutrition: A Call for Action to Build Resilient Livelihoods*. Roma, FAO. www.fao.org/3/a-i4434e.pdf.

_____. 2016. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015: ¿Cómo cambin los bosques del planeta? Segunda edición. Roma*, FAO. www.fao.org/3/a-i4793e.pdf.

FAO/FIDA/UNICEF/PMA/OMS (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola/Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia/Programa Mundial de Alimentos/Organización Mundial de la Salud). 2017. *Estado de la seguridad alimentaria y la alimentación en el mundo 2017: Reforzar la resiliencia para la paz y la seguridad alimentaria*. Roma, FAO. www.fao.org/3/a-I7695e.pdf.

FAO/GTIS (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/Grupo Técnico Intergubernamental de Suelos). 2015a. *Status of the World's Soil Resources (SWSR)* – Informe principal. Roma, FAO. www.fao.org/3/a-i5199e.pdf.

_____. 2015b. *Estado de los recursos del suelo en el mundo – Resumen técnico,* Roma, FAO. www.fao.org/3/a-i5126e.pdf.

FICR (Federacion Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja). 2016. World Disasters Report – Resilience:Saving Lives Today, Investing for Tomorrow. Ginebra, FICR. www.ifrc.org/Global/Documents/Secretariat/201610/WDR%202016-FINAL_web.pdf.

Finlayson, C. M., Gitay, H., Bellio, M. G., Van Dam, R. A. and Taylor, I. 2006. Climate variability and change and other pressures on wetlands and waterbirds: Impacts and adaptation. G. C. Boere, C. A. Galbraith and D. A. Stroud (eds.), *Waterbirds around the World: A Global Overview of the Conservation, Management and Research of the World's Waterbirds Flyways*. Edimburgo, Reino Unido, The Stationery Office. págs. 88–97.

Fischer, J., Lindenmayer, D. B. and Manning, A. D. 2006. Biodiversity, ecosystem function, and resilience: Ten guiding principles for commodity production landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol. 4, No. 2, págs. 80–86. doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0080:BEFART]2.0.CO;2.

FMAM (Fondo para el Medio Ambiente Mundial). 2017. GEF-6 *Program Framework Document* (PFD). *Amazon Sustainable Landscapes Program*. www.thegef.org/sites/default/files/project_documents/GEF-6_PFD_Amazon_Revised_Sept_10_FINAL.pdf.

FONAG (Fondo para la Protección del Agua). n.d. *Fund for Water Protection* — FONAG. sitio web del FONAG. www.fonag.org.ec/?page_id=1580.

Friedrich, T., Kassam, A. H. and Shaxson, F. 2008. *Agriculture for Developing Countries. Annex 2, Case Study Conservation Agriculture.* Proyecto de la Unidad de evaluación de las opciones científicas y tecnológicas (STOA) project. Karlsruhe, Alemania, Grupo europeo de evaluación tecnológica. www.itas.kit.edu/downloads/projekt/projekt_meye08_atdc_annex2.pdf.



Gale, I. N., Macdonald, D. M. J., Calow, R. C., Neumann, I., Moench, M., Kulkarni, H., Mudrakartha, S. and Palanisami, K. 2006. *Managed Aquifer Recharge: An Assessment of its Role and Effectiveness in Watershed Management*. Final report for DFID KAR project R8169, Augmenting groundwater resources by artificial recharge: AGRAR. Informe CR/06/107N encargado por el Servicio Geológico Británico. Keyworth, Reino Unido, British Geological Survey/Departamento de Desarrollo Internacional.

Gartner, T., Mulligan, J., Schmidt, R. and Gunn, J. (eds.). 2013. *Natural Infrastructure: Investing in Forested Landscapes for Source Water Protection in the United States*. Washington DC, World Resources Institute (WRI). www.wri.org/sites/default/files/wri13_report_4c_naturalinfrastructure_v2.pdf.

Gathorne-Hardy, A., Reddy, D. N., Venkatanarayana, M. and Harriss-White, B. 2013. A life cycle assessment (LCA) of greenhouse gas emissions from SRI and flooded rice production in SE India. *Taiwan Water Conservancy*, Vol. 61, No. 4, págs. 110–125.

GFC/IAC/CBA/AMAC/IAMAC/CTA/FECO (Green Finance Committee of China Society for Finance and Banking/Investment Association of China/China Banking Association/Asset Management Association of China/Insurance Asset Management Association of China/China Trustee Association/Foreign Economic Cooperation Office of the Ministry of Environment Protection). 2017. *Environmental Risk Management Initiative for China's Overseas Investment*. 5 de septiembre de, 2017. unepinquiry.org/wp-content/uploads/2017/09/Environmental-Risk-Management-Initiative-for-China---s-Overseas-Investment.pdf.

Gibson, D. J. 2009. *Grasses and Grassland Ecology*. Oxford, Oxford University Press.

Gleick, P. H. and Palaniappan, M. 2010. Peak water limits to freshwater withdrawal and use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 107, No. 25, págs. 11155–11162. doi.org/10.1073/pnas.1004812107.

Goldin, J., Rutherford, R. and Schoch, D. 2008. The place where the sun rises: An application of IWRM at the village level. *International Journal of Water Resource Development*, Vol. 24, No. 3, págs. 345–356. doi.org/10.1080/07900620802127283.

Goren, O. 2009. *Geochemical Evolution and Manganese Mobilization in Organic Enriched Water Recharging Calcareous-sandstone Aquifer; Clues from the Shafdan Sewage Treatment Plant*. tesis doctoral, Jerusalén, Israel, Universidad Hebrea/Ministerio de Infraestructuras Nacionales de Israel/ Estudio geológico de Israel. www.gsi.gov.il/_uploads/ftp/GsiReport/2009/Goren-Orly-GSI-12-2009.pdf.

Govaerts, B., Verhulst, N., Castellanos-Navarrete, A., Sayre, K. D., Dixon, J. and Dendooven, L. 2009. Conservation agriculture and soil carbon sequestration: Between myth and farmer reality. *Critical Reviews* in Plant Science, Vol. 28, No. 3, págs. 97–122. doi.org/10.1080/07352680902776358.

Graham, P. M., Dickens, C. W. S and Taylor, R. J. 2004. MiniSASS– miniSASS – A novel technique for community participation in river health monitoring and management. *African Journal of Aquatic Sciences*, Vol. 29, No. 1, págs. 25-35.

Granit, J., Liss Lymer, B., Olsen, S., Tengberg, A., Nõmmann, S. and Clausen, T. J. 2017. A conceptual framework for governing and managing key flows in a source-to-sea continuum. *Water Policy,* Vol. 19, No. 5, págs. 673–691. doi.org/ 10.2166/wp.2017.126.

Gurnell, A., Lee, M. and Souch, C. 2007. Urban rivers: Hydrology, geomorphology, ecology and opportunities for change. *Geography Compass*, Vol. 1, No. 5, págs. 1118–1137. doi.org/10.1111/j.1749-8198.2007.00058.x.

GWPEA (Global Water Partnership Eastern Africa). 2016. *Building Resilience to Drought: Learning from Experience in the Horn of Africa*. Entebbe, Uganda, Programa integrado de gestión de la sequía en el cuerno de África. www.droughtmanagement.info/literature/GWP_HOA_Building_Resilience_to_Drought_2016.pdf.



Haase, D. 2016. *Nature-Based Solutions for Cities: A New Tool for Sustainable Urban Land Development?* Puntos de vista del proyecto UGEC - Urbanización y cambio ambiental global. ugecviewpoints.wordpress.com/2016/05/17/nature-based.

Haddaway, N. R., Brown, C., Eggers, S., Josefsson, J., Kronvang, B., Randall, N. and Uusi-Kämppä, J. 2016. The multifunctional roles of vegetated strips around and within agricultural fields. A systematic map protocol. *Environmental Evidence*, Vol. 5, No. 1, pp. 18. doi.org/10.1186/s13750-016-0067-6.

Hahn, C., Prasuhn, V., Stamm, C. and Schulin, R. 2012. Phosphorus losses in runoff from manured grassland of different soil P status at two rainfall intensities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 153, págs. 65–74. doi.org/10.1016/j.agee.2012.03.009.

Hall, J. W., Grey, D., Garrick, D., Fung, F., Brown, C., Dadson, S. G. and Sadoff, C. W. 2014. Coping with the curse of freshwater variability: Institutions, infrastructure, and information for adaptation. *Science*, Vol. 346, No. 6208, págs. 429–430. doi.org/10.1126/science.1257890.

Halliday, S. J., Skeffington, R. A., Wade, A. J., Bowes, M. J., Read, D. S., Jarvie, H. P. and Loewenthal, M. 2016. Riparian shading controls instream spring phytoplankton and benthic algal growth. *Environmental Science: Processes & Impacts*, Vol. 18, págs. 677–689. doi.org/10.1039/C6EM00179C.

Hanson, C., Ranganathan, J., Iceland, C. and Finisdore, J. 2012. *The Corporate Ecosystem Services Review: Guidelines for Identifying Business Risks and Opportunities Arising from Ecosystem Change*. Version 2.0. Washington DC, World Resources Institute (WRI). www.wri.org/publication/corporate-ecosystem-services-review.

Herrera Amighetti, C. 2015. *Grupo de Infraestructura Verde* . Lima, Asociación de Entidades Reguladoras de Agua y Saneamiento de las Américas (ADERASA). www.sunass.gob.pe/fiar/aderasa/1cherrera.pdf. (en español.)

Hildebrandt, A. and Eltahir, E. A. 2006. Forest on the edge: Seasonal cloud forest in Oman creates its own ecological niche. *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, No. 11. doi.org/10.1029/2006GL026022.

Hipsey, M. R. and Arheimer, B. 2013. Challenges for water-quality research in the new IAHS decade on: Hydrology Under Societal and Environmental Change. B. Arheimer et al. (eds.), *Understanding Freshwater Quality Problems in a Changing World*. Wallingford, Reino Unido, International Association of Hydrological Sciences (IAHS) (Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas) Press, págs. 17–29.

Hirabayashi, Y., Kanae, S., Emori, S., Oki, T. and Kimoto, M. 2008. Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 53, No. 4, págs. 754–772. doi.org/10.1623/hysj.53.4.754.

HLPE (High-Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition Committee on World Food Security). 2015.*Grupo de expertos de alto nivel sobre seguridad alimentaria y alimentación del Comité sobre Seguridad Alimentaria Mundial*. El agua para la seguridad alimentaria mundial: Informe del Grupo de expertos de alto nivel sobre seguridad alimentaria y nutrición. Roma, HLPE. www.fao.org/3/a-av045e.pdf.

Hoekstra, A. Y. and Mekonnen, M. M. 2012. *The water footprint of humanity. Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 109, No. 9, págs. 3232–3237. doi.org/10.1073/pnas.1109936109.

Hooper, D. U., Chapin III, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S. and Schmid, B. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, Vol. 75, No. 1, págs. 3–35. doi.org/10.1890/04-0922.

Horn, O. and Xu, H. 2017. *Nature-Based Solutions for Sustainable Urban Development*. ICLEI Briefing Sheet. Bonn, Alemania, ICLEI – Gobiernos locales por el desarrollo sostenible. unfccc.int/files/parties_observers/submissions_from_observers/application/pdf/778.pdf.

Horwitz, P., Finlayson, C. M. and Weinstein, P. 2012. *Healthy Wetlands, Healthy Peo¬ple: A Review of Wetlands and Human Health Interactions*. Informe técnico de Ramsar No. 6. Gland/Ginebra, Suiza, Secretaría de la Convención de Ramsar sobre los humedales/Organización Mundial de la Salud (OMS). archive.ramsar.org/pdf/lib/rtr6-health.pdf.

Huffaker, R. 2008. Conservation potential of agricultural water conservation subsidies. *Water Resources Research*, Vol. 44, No. 7. doi.org/10.1029/2007WR006183.

Hulsman, H., Van der Meulen, M. and Van Wesenbeeck, B. 2011. *Green Adaptation: Making Use of Ecosystems Services for Infrastructure Solutions in Developing Countries*. Delft, Países Bajos, Deltares. www.solutionsforwater.org/wp-content/uploads/2012/01/Deltares-Informe-2011-Green-Adaptation.pdf.

Hunink, J. E. and Droogers, P. 2011. P*hysiographical Baseline Survey for the Upper Tana Catchment: Erosion and Sediment Yield Assessment*. Preparado para la Water Resources Management Authority (WRMA) de Kenya. Wageningen, Países Bajos, Future Water. www.futurewater.nl/wp-content/uploads/2013/01/2011_TanaSed_FW-1121.pdf.

Huntington, H. P. 2000. Using traditional ecological knowledge in science: Methods and applications. *Ecological Application*s, Vol. 10, No. 5, págs. 1270–1274. doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1270:UTEKIS]2.0.CO;2.

Huntington, T. G. 2006. Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology,* Vol. 319, No. 1–4, págs. 83–95. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.003.

I

ICMA (Asociación Internacional de Mercados de Capitales). 2015. *Green Bond Principles, 2015: Voluntary Process Guidelines for Issuing Green Bonds*, 27 de marzo de 2015. www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/GBP_2015_27-March.pdf.

Indepen. 2014. *Discussion Paper on the Potential for Catchment Services in England – Wessex Water, Severn Trent Water and South West Water*. Londres, Indepen Limited.

Ilstedt, U., Bargués Tobella, A., Bazié, H. R., Bayala, J., Verbeeten, E., Nyberg, G., Sanou, J., Benegas, L., Murdiyarso, D., Laudon, H., Sheil, D. and Malmer, A. 2016. Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports*, Vol. 6, No. 21930. doi.org/10.1038/srep21930.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Informe especial de los grupos de trabajo I y II del Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge, Reino Unido/Nueva York, Cambridge University Press. www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf.

_____. 2014. C*limate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Aportación del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge, Reino Unido/Nueva York , Cambridge University Press. www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/.

Itaipu Binacional. n.d. *Cultivando água boa* [Cultivating Good Water]. sitio web Itaipu Binacional. www.itaipu.gov.br/meioambiente/cultivando-agua-boa. (en portugués.)

Ito, S. 1997. A framework for comparative study of civilizations. *Comparative Civilizations Review*, Vol. 36, No. 36, Art. 4.

J

Jackson, B. M., Wheater, H. S., McIntyre, N. R., Chell, J., Francis, O. J., Frogbrook, Z., Marshall, M., Reynolds, B. and Solloway, I. 2008. The impact of upland land management on flooding: Insights from a multiscale experimental and modelling programme. *Journal of Flood Risk Management*, Vol. 1, No. 2, págs. 71–80. doi.org/10.1111/j.1753-318X.2008.00009.x.

Jacob, B., Mawson, A. R., Payton, M. and Grignard, J. C. 2008. Disaster mythology and fact: Hurricane Katrina and social attachment. *Public Health Reports*, Vol. 123, No. 5, págs. 555–566. doi.org/10.1177/003335490812300505.

Jansson, A. M., Hammer, M., Folcke, C. and Costanza, R. (eds.). 1995. *Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability*. Washington DC, Island Press.

Jønch-Clausen, T. 2004. "…*Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Plans by 2005"* Why, What and How? TEC Background Papers No. 10. Stockholm, Global Water Partnership (GWP). www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/10-iwrm-and-water-efficiency-plans-by-2005.-why-what-and-how-2004.pdf.

Jouravlev, A. 2003. *Los municipios y la gestión de los recursos hídricos* [Municipalities and water resources management]. Serie recursos naturales e infraestructura 66. Santiago, Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe (CEPAL) . repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6429/1/S0310753_es.pdf. (en español)

Jupiter, S. 2015. P*olicy Brief: Valuing Fiji's Ecosystems for Coastal Protection*.

K

Kassam, A., Friedrich, T. and Derpsch, R. 2017. *Global Spread of Conservation Agriculture: Interim Update 2015/16*. Resumen ampliado para el VII Congreso sobre Agricultura de Conservación, 1-4 de agosto de 2017, Rosario, Argentina.

Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F. and Pretty, J. 2009. The spread of Conservation Agriculture: Justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agriculture Sustainability*, Vol. 7, No. 4, págs. 292–320.

Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., Reeves, R., Pretty, J. and De Moraes Sá, J. C. 2011a. Production systems for sustainable intensification: Integrated productivity with ecosystem services. T*echnikfolgenabschatzung – Theorie und Praxis*, Vol. 20, No. 2, págs. 39–45.

Kassam, A., Mello, I., Bartz, H., Goddard, T., Friedrich, T., Laurent, F. and Uphoff, N. T. 2012. *Harnessing Ecosystem Services in Brazil and Canada*. Abstract presentado en la conferencia Planet Under Pressure Londres, 26-29 de marzo de 2012.

Kassam, A., Stoop, W. and Uphoff, N. 2011b. Review of SRI modifications in rice crop and water management and research issues for making further improvements in agricultural and water productivity. *Paddy and Water Environment*, Vol. 9, No. 1, págs. 163–180. doi.org/10.1007/s10333-011-0259-1.

Kazmierczak, A. and Carter, J. 2010. *Adaptation to Climate Change using Green and Blue Infrastructure: A Database of Case Studies*. Manchester, Reino Unido, Universidad de Manchester.

Keys, P. W., Wang-Erlandsson, L. and Gordon, L. J. 2016. Revealing invisible water: Moisture recycling as an ecosystem service. PLoS ONE, Vol. 11, No. 3, e0151993. doi.org/10.1371/journal.pone.0151993.

Keys, P. W., Wang-Erlandson, L., Gordon L. J., Galaz, V. and Ebbesson, J. 2017. Approaching moisture recycling governance. *Global Environmental Change*, Vol. 45, págs. 15–23. doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.04.007.

Kremer, P., Hamstead, Z., Haase, D., McPhearson, T., Frantzeskaki, N., Andersson, E., Kabish, N., Larondelle, N., Lorance Rall, E., Voigt, A., Baró, F., Bertram, C., Gómez-Baggethum, E., Hansen, R., Kaczorowska, A., Kain, J., Kronenberg, J., Langemeyer, J., Pauleit, S., Rehdanz, K., Schewenius, M., Van Ham, C., Wurster, D. and Elmqvist, T. 2016. Key insights for the future of urban ecosystem services research. *Ecology and Society*, Vol. 21, No. 2, Art. 29. doi.org/10.5751/ES-08445-210229.

L

Labat, D., Goddéris, Y., Probst, J. L. and Guyot, J. L. 2004. Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advances in Water Resources*, Vol. 27, No. 6, págs. 631–642. doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.02.020.

La Casa Blanca. 2015. *Memorandum presidencial: Mitigar los impactos en los recursos naturales provocados por el desarrollo y fomentar las inversiones privadas.* Washington DC, La Casa Blanca. Oficina del Secretario de Prensa. obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/11/03/mitigating-impacts-natural-resources-development-and-encouraging-related.

LACC/TNC (Consejo de Conservación para América Latina/The Nature Conservancy)). 2015. *Natural Infrastructure: An Opportunity for Water Security in 25 Cities in Latin America. Invest in Nature to Increase Water Security*. LACC/TNC. laconservationcouncil.org/publico/files/news/Top-25-Opp-Cities-Report---2015.pdf.

Lacombe, G. and Pierret, A. 2013. Hydrological impact of war-induced deforestation in the Mekong Basin. *Ecohydrology,* Vol. 6, No. 5, págs. 901–903. doi.org/10.1002/eco.1395.

Lansing, J. S. 1987. Balinese 'water temples' and the management of irrigation. A*merican Anthropologist,* Vol. 89, No. 2, págs. 326–341. doi.org/10.1525/aa.1987.89.2.02a00030.

Lasage, R., Aerts, J., Mutiso, G.-C. M. and De Vries, A. 2008. Potential for community based adaptation to droughts: Sand dams in Kitui, Kenya. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 33, No. 1–2, págs. 67–73. doi.org/10.1016/j.pce.2007.04.009.

Laurent, F., Leturcq, G., Mello, I., Corbonnois, J. and Verdum, R. 2011. La diffusion du semis direct au Brésil, diversité des pratiques et logiques territoriales: l'exemple de la región d'Itaipu au Paraná [The spread of direct seeding in Brazil, diversity of practices and territorial approaches: The example of the Itaipu region in Paraná]. *Confins*, Vol. 12. confins.revues.org/7143. (In French.)

Leadley, P. W., Krug, C. B., Alkemade, R., Pereira, H. M., Sumaila, U. R., Walpole, M., Marques, A., Newbold, T., Teh, L. S. L., Van Kolck, J., Bellard, C., Januchowski-Hartley, S. R. and Mumby, P. J. 2014. *Progress towards the Aichi Biodiversity Metas: An Assessment of Biodiversity Trends, Policy Scenarios and Key Actions*. CBD Technical Series No. 78. Montreal, PQ, CDB (Secretaría de la Convención sobre Diversidad Biológica). www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-78-en.pdf.

Liebman, M. and Schulte, L. A. 2015. Enhancing agroecosystem performance and resilience through increased diversification of landscapes and cropping systems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, Vol. 3, No. 41. doi.org/10.12952/journal.elementa.000041.

Liquete, C., Udias, A., Conte, G., Grizzetti, B. and Masi, F. 2016. Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control: Highlighting hidden benefits. *Ecosystem Services*, Vol. 22 (Part B), págs. 392–401. doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.09.011.

Lloret, P. 2009. FONAG, a *Trust Fund as a Financial Instrument for Water Conservation and Protection in Quito, Ecuador.* Network for Cooperation in Integrated Water Resource Management for Sustainable Development in Latin America and the Caribbean, Circular No. 29. Santiago, Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe, págs. . 5–6. repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39403/1/Carta29_en.pdf.

Lloyd, S. D., Wong, T. H. F. and Chesterfield, C. J. 2002. *Water Sensitive Urban Design: A Stormwater Management Perspective*. Victoria, Australia, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Monash University.

Love, D., Van der Zaag, P., Uhlenbrook, S. and Owen, R. 2011. A water balance modelling approach to optimising the use of water resources in ephemeral sand rivers. *River Research and Applications,* Vol. 27, No. 7, págs. 908–925. doi.org/10.1002/rra.1408.

Low, P. S. (ed.). 2013. *Economic and Social Impacts of Desertification, Land Degradation and Drought.* Libro Blanco I. II Conferencia científica de la CNULD, preparada con las aportaciones de un grupo internacional de científicos. París, Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación, (CNULD).

Lubber, M. 2016. Ceres Q&A with Monika Freyman: 'This market will continue to evolve quickly. *Forbes*, 14 de octubre de 2016. www.forbes.com/sites/mindylubber/2016/10/14/ceres-qa-with-monika-freyman-this-market-will-continue-to-evolve-quickly/#eddb6c2339ca.

Lundqvist, J. and Turton, A. R. 2001. Social, institutional and regulatory Issues. Č. Maksimović and J. A. Tejada-Guibert (eds.), *Frontiers in Urban Water Management: Deadlock or Hope?* Londres, Publicaciones, de la Asociación Internacional del (IWA).

M

Maltby, E., 1991. Wetland management goals: Wise use and conservation. *Journal of Landscape and Urban Planning*, Vol. 20, No. 1–3, págs. 9–18. doi.org/10.1016/0169-2046(91)90085-Z.

Mander, M., Jewitt, G., Dini, J., Glenday, J., Blignaut, J., Hughes, C., Marais, C., Maze, K., Van der Waal, B. and Mills, A. 2017. Modelling potential hydrological returns from investing in ecological infrastructure: Case studies from the Baviaanskloof-Tsitsikamma and uMngeni catchments, South Africa. *Ecosystem Service*s, Vol. 27 (Part B), págs. 261–271. doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.003.

Matamoros, V., Arias, C., Brix, H. and Bayona, J. M. 2009. Preliminary screening of small-scale domestic wastewater treatment systems for removal of pharmaceutical and personal care products. *Water Research*, Vol. 43, No. 1, págs. 55–62. doi.org/10.1016/j.watres.2008.10.005.

Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L. and Thebo, A. 2015. Global wastewater and sludge production: Treatment and use. P. Drechsel, M. Qadir and D. Wichelns (eds.), *Wastewater: Economic Asset in an Urbanizing World*. Dordrecht, Países Bajos, Springer, págs. 15–38.

Mazdiyasni, O. and AghaKouchak, A. 2015. Substantial increase in concurrent droughts and heatwaves in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 112, No. 3, págs. 11484–11489. doi.org/10.1073/pnas.1422945112.

McCartney, M., Cai, X. and Smakhtin, V. 2013. *Evaluating the Flow Regulating Functions of Natural Ecosystems in the Zambezi River Basin*. IWMI Informes de Investigación Serie No. 148. Colombo, Instituto Internacional de Gestión del Agua(IWMI). doi. org/10.5337/2013.206.

McCartney, M. and Dalton, J. 2015. *Built or Natural Infrastructure: A False Dichotomy*. Thrive Blog. Sitio web del Programa del CGIAR de investigación sobre el agua, la tierra y los ecosistemas (WLE). wle.cgiar.org/thrive/2015/03/05/built-or-natural-infrastructure-false-dichotomy.

McCartney, M. P., Neal, C. and Neal, M. 1998. Use of deuterium to understand runoff generation in a headwater catchment containing a dambo. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 2, No. 1, págs. 65–76. doi.org/10.5194/hess-2-65-1998.

McCartney, M. and Smakhtin, V. 2010. *Water Storage in an Era of Climate Change: Addressing the Challenge of Increasing Rainfall Variability*. Blue Paper. Colombo, Instituto Internacional de Gestión del Agua(IWMI). doi.org/10.5337/2010.012.

McIntyre, N. and Marshall, M. 2010. Identification of rural land management signals in runoff response. *Hydrological Processes*, Vol. 24, No. 24, págs. 3521–3534. doi.org/10.1002/hyp.7774.

Mekonnen, A., Leta, S. and Njau, K. N. 2015. Wastewater treatment performance efficiency of constructed wetlands in African countries: A review. *Water Science and Technology*, Vol. 71, No. 1, págs. 1–8. doi.org/10.2166/wst.2014.483.

Mello, I. and Van Raij, B. 2006. No-till for sustainable agriculture in Brazil. *Proceedings of the World Association for Soil and Water Conservation,* P1, págs. 49–57.

Michell, N. 2016. *How to Plug the Gap in Water Investments*. Development Finance. news.devfinance.net/how-to-plug-the-gap-in-water-investments?utm_source=160613&utm_medium=newsletter&utm_campaign=devfinance.

Mielke, E., Diaz Anadon, L. and Narayanamurti, V. 2010. *Water Consumption of Energy Resource Extraction, Processing, and Conversion: A review of the Literature for Estimates of Water Intensity of Energy-Resource Extraction, Processing to Fuels, and Conversion to Electricity.* Documento para la discusión sobre políticas de innovación en tecnología energética No. 2010–15. Cambridge, Mass. EE.UU., Belfer Center for Science and International Affairs/Harvard Kennedy School, Universidad de Harvard . www.belfercenter.org/sites/default/files/legacy/files/ETIP-DP-2010-15-final-4.pdf.

Milly, P. C. D., Dunne, K. A. and Vecchia A. V. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, Vol. 438, págs. 347–350. doi.org/10.1038/nature04312.

Mills, A. J., Van der Vyver, M., Gordon, I. J., Patwardhan, A., Marais, C., Blignaut, J., Sigwela, A. and Kgope, B. 2015. Prescribing innovation within a large-scale restoration programme in degraded subtropical thicket in South Africa. *Forests*, Vol. 6, No. 11, págs. 4328–4348. doi.org/10.3390/f6114328

Ministerio de Agricultura de Jordania. 2014. *Updated Rangeland Strategy for Jordan*. Amman, Dirección de pastizales y desarrollo de Badia, Ministerio de Agricultura.. moa.gov.jo/Portals/0/pdf/English_Strategy.pdf.

Minkman, E., Van der Sanden, M. and Rutten, M. 2017. Practitioners' viewpoints on citizen science in water management: A case study in Dutch regional water resource management. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 21, No. 1, págs. 153–167. doi. org/10.5194/hess-21-153-2017.

Mitsch, W. and Jørgensen, S. 2004. *Ecological Engineering and Ecosystem Restoration*. Hoboken (NJ), EE.UU., John Wiley & Sons.

Montgomery, D. R. 2007. *Dirt: The Erosion of Civilizations*. Berkeley/Los Ángeles, EE.UU., University of California Press.

Morrison, E. H. J., Banzaert, A., Upton, C., Pacini, N., Pokorný, J. and Harper, D. M. 2014. Biomass briquettes: A novel incentive for managing papyrus wetlands sustainably? *Wetlands Ecology and Management*, Vol. 22, No. 2, págs. 129–141. doi.org/10.1007/s11273-013-9310-x.

MRC (Mekong River Commission). 2009. *Annual Mekong Flood Report 2008*. Vientiane, MRC. www.mrcmekong.org/assets/Publications/basin-reports/Annual-Mekong-Flood-Report-2008.pdf.

Muller, M., Biswas, A., Martin-Hurtado, R. and Tortajada, C. 2015. Built infrastructure is essential. *Science*, Vol. 349, No. 6248, págs. 585–586. doi.org/10.1126/science.aac7606.

Munang, R., Thiaw, I., Alverson, K., Liu, J. and Han, Z. 2013. The role of ecosystem services in climate change adaptation and disaster risk reduction. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 5, No. 1, págs. 47–52. doi.org/10.1016/j.cosust.2013.02.002.

Munich Re. 2013. *Severe Weather in Asia: Perils, Risks, Insurance*. Munich, Alemania, Munich Re.

Narayan, S., Cuthbert, R., Neal, E., Humphries, W., Ingram, J. C. 2015. *Protecting against Coastal Hazards in Manus and New Ireland Provinces, Papua New Guinea: An Assessment of Present and Future Options*. Informe técnico de la WCS en Papúa Nueva Guinea. Goroka, Papua New Guinea, Wildlife Conservation Society. programs.wcs.org/png/About-Us/News/articleType/ArticleView/articleId/8335/Coastal-Hazards-Assessment-report-released.aspx.

Naumann, S., Kaphengst, T., McFarland, K. and Stadler, J. 2014. *Nature-Based Approaches for Climate Change Mitigation and Adaptation: The Challenges of Climate Change – Partnering with Nature*. Bonn, Alemania, Agencia Federal Alemana para la Conservación de la Naturaleza (BfN).

NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio). 2017. Los datos de la NASA y de la NOAA muestran que 2016 fue el año más cálido a nivel global. Nota de prensa. Washington DC, NASA. www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-data-show-2016-warmest-year-on-record-globally.

Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., Haase, D., Jones-Walters, L., Keune, H., Kovacs, E., Krauze, K., Külvik, M., Rey, F., Van Dijk, J., Vistad, O. I., Wilkinson, M. E. and Wittmer, H. 2017. The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of The Total Environment*, Vol. 579, págs. 1215–1227. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106.

Newman, P. 2010. Green urbanism and its application to Singapore. *Environment and Urbanization Asia*, Vol. 1, No. 2, págs. 149–170. doi.org/10.1177/097542531000100204.

Newman, J. R., Duenas-Lopez, M., Acreman, M. C., Palmer-Felgate, E. J., Verhoeven, J. T. A., Scholz, M. and Maltby, E. 2015. Do *On-Farm Natural, Restored, Managed and Constructed Wetlands Mitigate Agricultural Pollution in Great Britain and Ireland?*: A Systematic Review. London, UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). nora.nerc.ac.uk/509502/1/N509502CR.pdf.

Nobre, A. D. 2014. T*he Future Climate of Amazonia: Scientific Assessment Report*. São José dos Campos, Brazil, Articulación Regional Amazónica (ARA)/Earth System Science Center (CCST)/National Institute of Space Research (INPE)/National Institute of Amazonian Research (INPA). www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/11/The_Future_Climate_of_Amazonia_Report.pdf.

OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). 2012. *Perspectivas ambientales de la OCDE hacia 2050: Consecuencias de la inacción*. París, Ediciones de la OCDE doi.org/10.1787/9789264122246-en.

_____. 2013.*Compendio de indicadores agroambientales de la OCDE*. París,Ediciones de la OCDE. doi.org/10.1787/9789264186217-en.

_____. 2015a. *Table 1: Ayudas públicas netas al desarrollo de los miembros del CAD y otros donantes en 2014.* Sitio web de la OCDE. www.oecd.org/dac/stats/documentupload/ODA%202014%20Tables%20and%20Charts.pdf.

_____. 2015b. *Políticas agrícolas: seguimiento y evaluación 2015*. París, Ediciones de la OCDE. www.oecd.org/tad/agricultural-policies/monitoring-evaluation-2015-highlights-july-2015.pdf.

_____. 2016. *Gestión de los riesgos de sequía e inundación en la agricultura: enseñanzas para las políticas públicas.* París, Ediciones de la OCDE. doi.org/10.1787/9789264246744-en.

_____. 2017. *Diffuse Pollution, Degraded Waters: Emerging Policy Solutions.* Paris, Publicaciones de la OCDE. doi.org/10.1787/9789264269064-en.

_____. n.d. *Datos OCDE: Previsiones del PIB a largo plazo.* data.oecd.org/gdp/gdp-long-term-forecast.htm (Consultado en julio de 2017).

OCDE/CEPAL. 2016. *Análisis de resultados ambientales de la OCDE: Chile 2016*. París,Publicaciones de la OCDE. doi.org/10.1787/9789264252615-en.

O'Gorman, P. A. 2015. Precipitation extremes under climate change. *Current Climate Change Reports*, Vol. 1, No. 2, págs. 49–59. doi.org/10.1007/s40641-015-0009-3.

OIT (Organizacion Internacional del Trabajo) 1989. Convenio 169 sobre pueblos indigenas y tribales. Convenio sobre pueblos indigenas y tribales en paises independientes (entrada en vigor: 5 de septiembre de 1991). Ginebra, 76 sesion de la ILC (27 de junio de 1989) www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::p12100_instrument_id:312314.

_____. 2017. *Pueblos indigenas y cambio climatico: de victimas a agentes del cambio a traves del trabajo decente* Ginebra, OIT. www.ilo.org/global/topics/indigenous-tribal/WCMS_551189/lang--en/index.htm.

Oki, T. y Kanae, S. 2006. Global hydrological cycles and world water resources. *Science*, Vol. 313, No. 5790, págs. 1068–1072. doi.org/10.1126/science.1128845.

OMM (Organizacion Meteorologica Mundial). 2006: Social Aspects and Stakeholder Involvement in Integrated Flood Management. OMM/Global Water Partnership (GWP) Associated Programme on Flood Management (APFM) Documento tecnico No. 4, OMM No. 1008. Ginebra, OMM. www.floodmanagement.info/publications/policy/ifm_social_aspects/Social_Aspects_and_Stakeholder_Involvement_in_IFM_En.pdf.

_____. 2007. *Economic Aspects of Integrated Flood Management*, OMM/Global Water Partnership (GWP) Associated Programme on Flood Management (APFM) Documento tecnico No. 5, OMM No. 1010. Ginebra, OMM. www.floodmanagement.info/publications/policy/ifm_economic_aspects/Economic_Aspects_of_IFM_En.pdf.

_____. 2009. *Integrated Flood Management: Concept Paper*. OMM/Global Water Partnership (GWP) Associated Programme on Flood Management (APFM), OMM No. 1047. Ginebra, OMM. www.floodmanagement.info/publications//concept_paper_e.pdf.

_____. 2017. S*electing Measures and Designing Strategies for Integrated Flood Management: A Guidance Document*. Ginebra, OMM. www.floodmanagement.info/publications/guidance%20-%20selecting%20measures%20and%20designing%20strategies_e_web.pdf.

ONU-Agua. 2010. Climate Change Adaptation: The Pivotal Role of Water. Policy Brief. www.unwater.org/publications/climatechange-adaptation-pivotal-role-water/.

_____. 2013. *Analytical Brief on Water Security and the Global Water Agenda*. Hamilton (Ont.), Canada, United Nations University (UNU). www.unwater.org/publications/water-security-global-water-agenda/.

_____. 2016a. *Towards a Worldwide Assessment of Freshwater Quality: A UN-Water Analytical Brief*. ONU-Agua. www.unwater.org/app/uploads/2017/05/UN_Water_Analytical_Brief_20161111_02_web_pages.pdf.

_____. 2016b. *Water and Sanitation Interlinkages across the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Ginebra, ONU-Agua. www.unwater.org/app/uploads/2016/08/Water-and-Sanitation-Interlinkages.pdf.

ONUDI (Organizacion de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial). 2013. Declaracion de Lima: Hacia un desarrollo industrial inclusivo y sostenible. Adoptada por la 15a sesion de la Conferencia general de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial, Lima, 2 de diciembre de 2013. www.unido.org/fileadmin/Lima_Declaration.pdf.

Oppla. s.d. *Barcelona: Nature-Based Solutions (SbN) Enhancing Resilience to Climate Change*. sitio web de Oppla, estudios de casos. oppla.eu/casestudy/17283.

Ostrom, E. 2008. The challenge of common-pool resources. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, Vol. 50, No. 4, págs. 8–21. doi.org/10.3200/ENVT.50.4.8-21.

Palmer, M. A., Liu, J., Matthews, J. H., Mumba, M. and D'Odorico, P. 2015. Water security: Gray or green? *Science*, Vol. 349, No. 6248, págs. 584–585. doi.org/10.1126/science.349.6248.584-a.

Parkyn, S. 2004. *Review of Riparian Buffer Zone Effectiveness*. MAF Technical Paper No. 2004/05. Wellington, Ministry of Agriculture and Forestry (MAF) of New Zealand. www.crc.govt.nz/publications/Consent%20Notifications/upper-waitaki-submitter-evidence-maf-technical-paper-review-riparian-buffer-zone-effectiveness.pdf.

Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P. y otros autores. 2007. Technical Summary. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden and C. E. Hanson (eds.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press, págs. 23–78. www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2-ts.pdf.

Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minayeva, T., Silvius, M. and Stringer, L. (eds.). 2008. *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report*. Petaling Jaya, Malaysia/Wageningen, The Netherlands, Global Environment Centre/Wetlands International.

Pavelic, P., Srisuk, K., Saraphirom, P., Nadee, S., Pholkern, K., Chusanathas, S., Munyou, S., Tangsutthinon, T., Intarasut, T. and Smakhtin, V. 2012. Balancing-out floods and droughts: Opportunities to utilize floodwater harvesting and groundwater storage for agricultural development in Thailand. *Journal of Hydrology*, Vol. 470–471, pp. 55–64. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.08.007.

Pavelic, P., Brindha, K., Amarnath, G., Eriyagama, N., Muthuwatta, L., Smakhtin, V., Gangopadhyay, P. K., Malik, R. P. S., Mishra, A., Sharma, B. R., Hanjra, M. A., Reddy, R. V., Mishra, V. K., Verma, C. L. and Kant, L. 2015. *Controlling Floods and Droughts through Underground Storage: From Concept to Pilot Implementation in the Ganges River Basin*. IWMI Research Report No. 165. Colombo, Instituto Internacional de Gestión del Agua(IWMI). doi.org/10.5337/2016.200.

Perrot-Maître, D. and Davis, P. 2001. *Case Studies of Markets and Innovative Financial Mechanisms for Water Services from Forests*. Washington DC, Forest Trends, The Katoomba Group. www.forest-trends.org/documents/files/doc_134.pdf.

Peterson, L. C. and Haug, G. H. 2005. Climate and the collapse of Maya civilization. *American Scientist*, Vol. 93, No. 4, págs. 322–329.

Pittock, J. y Xu, M. 2010. *Controlling Yangtze River Floods: A New Approach.* World Resources Report Case Study. Washington DC, World Resources Institute. www.wri.org/sites/default/files/uploads/wrr_case_study_controlling_yangtze_river_floods.pdf.

Plieninger, T., Bieling, C., Fagerholm, N., Byg, A., Hartel, T., Hurley, P., López-Santiago, C. A., Nagabhatla, N., Oteros-Rozas, E., Raymond, C. M., Van der Horst, D. and Huntsinger, L. 2015. The role of cultural ecosystem services in landscape management and planning. *Current Opinion in Environmental Sustainability,* Vol. 14, págs. 28–33. doi.org/10.1016/j.cosust.2015.02.006.

PNUD/BIOFIN (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo/Iniciativa para la Financiacion de la Biodiversidad). 2016. BIOFIN Workbook: Mobilizing Resources for Biodiversity and Sustainable Development. Nueva York, PNUD. www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/ecosystems_and_biodiversity/biofin-workbook.html.

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2015. Promoting Ecosystems for Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation: Opportunities for Integration. Documento para la discusion. Ginebra. PNUMA, Post-Conflict and Disaster Management Branch. postconflict.unep.ch/publications/Eco-DRR/Eco-DRR_Discussion_paper_2015.pdf.

_____. 2016a. A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a Global Assessment. Nairobi, PNUMA. uneplive.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pdf.

_____. 2016b. River Partners: Applying Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction (Eco-DRR) in Integrated Water Resource Management (IWRM) in the Lukaya Basin, Republica Democratica del Congo. Nairobi, PNUMA. postconflict.unep.ch/publications/DRCongo/DR_Congo_Eco_DRR_case_study_2016.pdf.

PNUMA-DHI/IUCN/TNC (Partenariado PNUMA-DHI/Union Internacional para la Conservacion de la Naturaleza/The Nature Conservancy). 2014. Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-Based Management Approaches for Water-

Related Infrastructure Projects. PNUMA. web.unep.org/ecosystems/resources/publications/green-infrastructure-guide-watermanagement.

Power, A. G. 2010. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, Vol. 365, No. 1554, págs. 2959–2971. doi.org/10.1098/rstb.2010.0143.

Pretty, J. N., Noble, A. D., Bossio, D., Dixon, J., Hine, R. E., Penning de Vries, F. W. and Morison, J. I. 2006. Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries. *Environmental Science and Technology*, Vol. 40, No. 4, págs. 1114–9. doi.org/10.1021/es051670d.

PRI (Principios para la Inversión Responsable). 2006. *Principles for Responsible Investment.* New York, PRI. www.unglobalcompact.org/library/290.

R

Rangachari, R., Sengupta, N., Iyer, R., Baneri, P. and Singh, S. 2000. *Large Dams: India's Experience*. Ciudad del Cabo, Sudáfrica, Comisión Mundial de Presas.

Raymond, C. M. and Kenter, J. O. 2016. Transcendental values and the valuation and management of ecosystem services. *Ecosystem Services*, Vol. 21 (Part B), págs. 241–257. doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.018.

Raymond, C. M., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., Kabisch, N., De Bel, M., Enzi, V., Frantzeskaki, N., Geneletti, D., Cardinaletti, M., Lovinger, L., Basnou, C., Monteiro, A., Robrecht, H., Sgrigna, G., Muhari, L. and Calfapietra, C. 2017. *An Impact Evaluation Framework to Support Planning and Evaluation of Nature-Based Solutions Projects*. Report prepared by the EKLIPSE Expert Working Group on Nature-based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas. Wallingford, UK, Centre for Ecology and Hydrology (CEH). www.eklipse-mechanism.eu/apps/Eklipse_data/website/EKLIPSE_Report1-SbN_FINAL_Complete-08022017_LowRes_4Web.pdf.

Renaud, F. G., Sudmeier-Rieux, K. and Estrella, M. (eds.). 2013. *The Role of Ecosystems in Disaster Risk Reduction*. Tokio, United Nations University Press.

Richey, A. S., Thomas, B. F., Lo, M. H., Reager, J. T., Famiglietti, J. S., Voss, K., Swenson, S. and Rodell, M. 2015. Quantifying renewable groundwater stress with GRACE. *Water Resources Research*, Vol. 51, No. 7, págs. 5217–5238. doi.org/10.1002/2015WR017349.

Rogers, J. D., Kemp, G. P., Bosworth, H. J. and Seed, R. B. 2015. Interaction between the U.S. Army Corps of Engineers and the Orleans Levee Board preceding the drainage canal wall failures and catastrophic flooding of New Orleans in 2005. *Water Policy*, Vol. 17, No. 4, pp. 707–723. doi.org/10.2166/wp.2015.077.

Room for the River. n.d.a. *Dutch Water Programme Room for the River. Factsheets*. The Netherlands, Room for the River. www.ruimtevoorderivier.nl/english/

Room for the River n.d.b. *Making room for the Dutch approach. Factsheets*. Países Bajos, Room for the River. www.ruimtevoorderivier.nl/english/

Rosegrant, M. W., Cai, X. y Cline, S. A. 2002. *World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity*. Washington DC, Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI). ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/92523.

Rost, S., Gerten, D., Hoff, H., Lucht, W., Falkenmark, M. and Rockström, J. 2009. Global potential to increase crop production through water management in rainfed agriculture. *Environmental Research Letters*, Vol. 4, No. 4. doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/044002.

Russi, D., Ten Brink, P., Farmer, A., Badura, T., Coates, D., Förster, J., Kumar, R. and Davidson, N. 2012. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands*. London/Brussels/Gland, Switzerland, Institute for European Environmental Policy (IEEP)/Secretariat of the Ramsar Convention. www.teebweb.org/publication/the-economics-of-ecosystems-and-biodiversity-teeb-for-water-and-wetlands/.

S

Sadoff, C. W., Hall, J. W., Grey, D., Aerts, J. C. J. H., Ait-Kadi, M., Brown, C., Cox, A., Dadson, S., Garrick, D., Kelman, J., McCornick, P., Ringler, C., Rosegrant, M., Whittington, D. and Wiberg, D. 2015. *Securing Water, Sustaining Growth: Report of the GWP/OECD Task Force on Water Security and Sustainable Growth*. Oxford, UK, University of Oxford. www.water.ox.ac.uk/wp-content/uploads/2015/04/SCHOOL-OF-GEOGRAPHY-SECURING-WATER-SUSTAINING-GROWTH-DOWNLOADABLE.pdf.

Sakalauskas, K. M., Costa, J. L., Laterra, P., Hidalgo, L. and Aguirrezabal, L. A. N. 2001. Effects of burning on soil-water content and water use in a *Paspalum quadrifarium grassland.* Agricultural Water Management, Vol. 50, No. 2, págs. 97–108. doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00095-6.

Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo., T. and Zahoor, M. 2013. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, Vol. 130, págs. 1–13. doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007.

Sauvé, S. and Desrosiers, M. 2014. A review of what is an emerging contaminant. *Chemistry Central Journal*, Vol. 8, No. 15. doi.org/10.1186/1752-153X-8-15.

Sayers, P., Galloway, G., Penning-Rowsell, E., Yuanyuan, L., Fuxin, S., Yiwei, C., Kang, W., Le Quesne, T., Wang. L. and Guan, Y. 2014. Strategic flood management: Ten 'golden rules' to guide a sound approach. *International Journal of River Basin Management*, Vol. 13, No. 2, págs. 137–151. doi.org/10.1080/15715124.2014.902378.

SCBD (Secretaría de la Convención sobre Diversidad Biológica). 2014. *Global Biodiversity Outlook 4: A Mid-Term Perspectivas*

*mundiales de la diversidad biológica 4: Evaluación a mitad de camino de los progresos realizados en la puesta en práctica del Plan estratégico para la diversidad biológica 2011-2020*. Montreal, Canadá, SCBD. www.cbd.int/gbo4/.

Schilling, K. E. and Libra, R. D. 2003. Increased baseflow in Iowa over the second half of the 20th century. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 39, No. 4, págs. 851–860. doi.org/10.1111/j.1752-1688.2003.tb04410.x.

Scholes, R. J. and Biggs, R. 2004. *Ecosystem Services in Southern Africa: A Regional Assessment*. Pretoria, Council for Scientific and Industrial Research (CSIR).

Scholes, R. J., Scholes, M. and Lucas, M. 2015. *Climate Change: Briefings from Southern Africa.* Johannesburgo, Sudáfrica, Wits University Press.

Scholz, M. 2006. *Wetland Systems to Control Urban Runoff.* Amsterdam, Elsevier Science.

Schulte-Wülwer-Leidig, A. n.d. *From an Open Sewer to a Living Rhine River.* Coblenza, Alemania, CIPR (Comisión Internacional para l Protección del Rin).

SEG (Scientific Expert Group on Climate Change). 2007. *Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable*. Informe preparado para la Comisión de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas (CNUDS). Research Triangle Park (NC)/Washington DC, Sigma XI/Fundación de las Naciones Unidas. www.globalproblems-globalsolutions-files.org/unf_website/PDF/climate%20_change_avoid_unmanagable_manage_unavoidable.pdf.

Singh, R. 2016. *Water Security and Climate Change: Challenges and Opportunities in Asia.* Discurso i naugural en el Instituto Asiático de Tecnología, Bangkok, 29 de noviembre - 1 de diciembre de 2016.

SIWI (Instituto internacional de hidrología de Estocolmo). 2015. *Rajendra Singh – The Water Man of India Wins 2015 Stockholm Water Prize*. Sitio web del SIWI . www.siwi.org/prizes/stockholmwaterprize/laureates/2015-2/.

Shah, T. 2009. *Taming the Anarchy: Groundwater Governance in South Asia*. Washington, DC/Colombo, Recursos para el futuro / Instituto Internacional de Gestión del Agua(IWMI).

Simons, G., Buitink, J., Droogers, P. and Hunink, J. 2017. *Impacts of climate change on water and sediment flows in the Upper Tana Basin, Kenya*. Wageningen, The Netherlands, Future Water. www.futurewater.nl/wp-content/uploads/2017/04/Tana_CC_FW161.pdf

Skov, H. 2015. UN Convention on Wetlands (RAMSAR): Implications for Human Health. S. A. Elias (Ed.), *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.* Amsterdam, Elsevier. doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09347-7.

Smakhtin, V. U. and Schipper, E. L. 2008. Droughts: the impact of semantics and perceptions. *Water Policy*, Vol. 10, No. 2, pp. 131–143. doi.org/10.2166/wp.2008.036.

Smalls-Mantey, L. 2017. *The Potential Role of Green Infrastructure in the Mitigation of the Urban Heat Island*. PhD dissertation. Philadelphia, PA, EE.UU, Universidad Drexel. idea.library.drexel.edu/islandora/object/idea%3A7596

Squires, V. R. and Glenn, E. P. 2011. Salination, desertification and soil erosion. V. R. Squires (ed.), *The Role of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries in Human Nutrition*. París/Oxford, Reino Unido, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)/Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).

Stagnari, F., Ramazzotti, S. and Pisante, M. 2009. Conservation Agriculture: A different approach for crop production through sustainable soil and water management: A review. E. Lichtfouse (ed.), *Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants. Sustainable Agriculture Reviews*, Vol. 1. Dordrecht, Países Bajos, Springer, págs. 55–83.

Stanton, T., Echavarria, M., Hamilton, K. and Ott, C. 2010. *State of Watershed Payments: An Emerging Marketplace.* Ecosystem Marketplace. www.forest-trends.org/documents/files/doc_2438.pdf.

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. and Ludwig, C. 2015. The trajectory of the Anthropocene: The great acceleration. *The Anthropocene Review,* Vol. 2, No. 1, págs. 81–98. doi.org/10.1177/2053019614564785.

Sun, G., Zhou, G. Y., Zhang, Z. Q., Wei, X. H., McNulty, S. G. and Vose, J. M. 2006. Potential water yield reduction due to forestation across China. *Journal of Hydrology*, Vol. 328, No. 3–4, págs. 548–558. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.12.013.



Tacconi, L. 2015. *Regional Synthesis of Payments for Environmental Services (PES) in the Greater Mekong Region*. Working Paper No. 175. Bogor, Indonesia, Center for International Forestry Research (CIFOR). doi.org/10.17528/cifor/005510.

Taylor, B. R. (ed.). 2005. *Encyclopedia of Religion and Nature*. Two volumes. London, Theommes.

TEEB (Economía de los ecosistemas y de la biodiversidad). 2009. *TEEB in National and International Policy Making*. Londres / Washington DC, Routledge. img.teebweb.org/wp-content/uploads/2017/03/TEEB-for-Policy-Makers_Website.pdf.

_____. 2011. *TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management*. www.teebweb.org/publication/teeb-manual-for-cities-ecosystem-services-in-urban-management/.

Thakur, A. K., Kassam, A., Stoop, W. A. and Uphoff, N. 2016. Modifying rice crop management to ease water constraints with increased productivity, environmental benefits, and climate-resilience. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 235, págs. 101–104. doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.011.

Tidball, K. G. 2012. Urgent biophilia: Human-nature interactions and biological attractions in disaster resilience. *Ecology and Society*, Vol. 17, No. 2, Art. 5. doi.org/10.5751/ES-04596-170205.

Tinoco, M., Cortobius, M., Doughty Grajales, M. and Kjellén, M. 2014. Water co-operation between cultures: Partnerships with indigenous peoples for sustainable water and sanitation services. *Aquatic Procedia*, Vol. 2, págs. 255–62. doi.org/10.1016/j.aqpro.2014.07.009.

TNC (The Nature Conservancy). 2015. *Upper Tana-Nairobi Water Fund: A Business Case*. Versión 2. Nairobi, TNC. www.nature.org/ourinitiatives/regions/africa/upper-tana-nairobi-water-fund-business-case.pdf.

To, P. X., Dressler, W. H., Mahanty, S., Pham, T. T. and Zingerli, C. 2012. The prospects for Payment for Ecosystem Services (PES) in Vietnam: A look at three payment schemes. *Human Ecology Interdisciplinary Journal*, Vol. 40, No. 2, págs. 237–249. doi.org/10.1007/s10745-012-9480-9.

Tognetti, S. S., Aylward, B. and Mendoza, G. F. 2005. Markets for watershed services. M. G. Anderson (ed.), *Encyclopaedia of Hydrological Sciences*. Chichester, Reino Unido, Wiley.

Turton, A.R. and Botha, F. S. 2013. Anthropocenic aquifer: New thinking. S. Eslamien (ed.), *Handbook for Engineering Hydrology (Volume 3): Environmental Hydrology and Water Management*. Londres, CRC Press.

U

Una evaluacion exhaustiva de la gestion del agua en la agricultura. 2007. Agua para la alimentacion, agua para la vida: Una evaluacion exhaustiva de la gestion del agua en la agricultura. Londres/ Colombo, Earthscan/Instituto Internacional de Gestion del Agua(IWMI).

UNESCO. 2015a. *Iniciativa internacional sobre la calidad del agua: orientada a promover la investigación científica, la divulgación del conocimiento y el desarrollo de tecnologías y políticas eficaces para responder a los retos de calidad del agua para un desarrollo sostenible.* París, UNESCO. unesdoc.unesco.org/images/0024/002436/243651e.pdf.

_____. 2015b. *Los contaminantes emergentes en la reutilización de las aguas residuales en los países en desarrollo.* UNESCO-PHI Iniciativa internacional sobre la calidad del agua (IIWQ) 2014–2018. París, UNESCO. unesdoc.unesco.org/images/0023/002352/235241E.pdf.

_____. 2016. *Ecohydrology as an Integrative Science from Molecular to Basin Scale: Historical Evolution, Advancements and Implementation Activities.* París, UNESCO. unesdoc.unesco.org/images/0024/002455/245512e.pdf.

_____. De próxima publicación. *Emerging Pollutants in Water and Wastewater of East Ukraine: Occurrence, Fate and Regulation.* UNESCO Emerging Pollutants in Water Series. París, UNESCO.

UNESCO/HELCOM (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura/Comisión para la protección del medio marino del Mar Báltico - Comisión de Helsinki). 2017. *Pharmaceuticals in the Aquatic Environment in the Baltic Sea Region: A Status Report.* UNESCO Emerging Pollutants in Water Series, Vol. 1. París, UNESCO. unesdoc.unesco.org/images/0024/002478/247889E.pdf.

_____. 2017. *Report of the Special Rapporteur on the Right to Food*. Human Rights Council Thirty-fourth session, 27 de febrero - 24 de marzo de 2017. Document A/HRC/34/48. Naciones Unidas. documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/G17/017/85/PDF/G1701785.pdf?OpenElement.

UNISDR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres). 2015. *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. Ginebra, UNISDR. www.unisdr.org/we/inform/publications/43291.

Universidad de Łódź/City of Łódź Office. 2011. *Implementation of the Blue-Green Network Concept: Final Demonstration Activity Report WP – The City of Łódź 2006-2011 – Annex 4*. Łódź, Polonia, Universidad de Łódź/City of Łódź Office.

Uphoff, N. 2008. The system of rice intensification (SRI) as a system of agricultural innovation. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, Vol. 10, No. 1, págs. 27–40. journal.ipb.ac.id/index.php/jtanah/article/view/2397/1403.

Uphoff, N. and Dazzo, F. B. 2016. Making rice production more environmentally-friendly. *Environments,* Vol. 3, No. 2, Art. 12. doi.org/10.3390/environments3020012.

Uphoff, N., Kassam, A. and Harwood, R. 2011. SRI as a methodology for raising crop and water productivity: Productive adaptations in rice agronomy and irrigation water management. *Paddy and Water Environment*, Vol. 9, No. 1, págs. 3–11. doi.org/10.1007/s10333-010-0224-4.

USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos) Agencia de Servicios para la Agricultura. 2008. *Conservation Reserve Program (CRP) Benefits: Water Quality, Soil Productivity and Wildlife Estimates.* Fact Sheet. Washington DC, Departamento de Agricultura de EE.UU. www.fsa.usda.gov/Internet/FSA_File/crpbennies.pdf.

_____. 2016. *The Conservation Reserve Program: 49th Signup Results.* Washington DC, Departamento de Agricultura de EE.UU.. www.fsa.usda.gov/Assets/USDA-FSA-Public/usdafiles/Conservation/PDF/SU49Book_State_final1.pdf.

US EPA (United States Environmental Protection Agency). 2015. *General Accountability Considerations for Green Infrastructure*. Green Infrastructure Permitting and Enforcement Series: Fact Sheet No. 1. US EPA. www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/epa-green-infrastructure-factsheet-1-061212-pj-2.pdf.

_____. *n.d. Summary of the Clean Water Act.* sitio web de US EPA . www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act.

V

Van der Ent, R. J., Savenije, H. H. G., Schaefli, B. and Steele-Dunne, S. C. 2010. Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Research*, Vol. 49, No. 9, W09525. doi.org/10.1029/2010WR009127.

Van der Ent, R. J., Wang-Erlandsson, L., Keys, P. W. and Savenije, H. H. G. 2014. Contrasting roles of interception and transpiration in the hydrological cycle – Part 2: Moisture recycling. Earth *System Dynamics,* Vol. 5, págs. 471–489. doi.org/10.5194/esd-5-471-2014.

Van der Putten, W. H., Anderson, J. M., Bardgett, R. D., Behan-Pelletier, V., Bignell, D. E., Brown, G. G., Brown, V. K., Brussaard, L., Hunt, H. W., Ineson, P., Jones, T. H., Lavelle, P., Paul, E. A., St. John, M., Wardle, D. A., Wojtowicz, T. and Wall, D.H. 2004. The sustainable delivery of goods and services provided by soil biota. D.H. Wall (ed.), *Sustaining Biodiversity and Ecosystem Services in Soils and Sediments.* San Francisco, Island Press, págs. 15–43.

Veldkamp, T. I. E., Wada, Y., Aerts, J. C. J. H., Döll, P., Gosling, S. N., Liu, J., Masaki, Y., Oki, T., Ostberg, S., Pokhrel, Y., Satoh, Y. and Ward, P. J. 2017. Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century. *Nature Communications*, No. 15697. doi.org/10.1038/ncomms15697.

Veolia/IFPRI (International Food Policy Research Institute). 2015. *The Murky Future of Global Water Quality: New Global Study Projects Rapid Deterioration in Water Quality.* Washington/Chicago, USA, IFPRI/Veolia. www.ifpri.org/publication/murky-future-global-water-quality-new-global-study-projects-rapid-deterioration-water.

Viste, E. and Sorteberg, A. 2013. The effect of moisture transport variability on Ethiopian summer precipitation. *International Journal of Climatology*, Vol. 33, No. 15, págs. 3106–3123. doi.org/10.1002/joc.3566.

Voulvoulis, N., Arpon, K. D. and Giakoumis, T. 2017. The EU Water Framework Directive: From great expectations to problems with implementation. *Science of the Total Environment*, Vol. 575, págs. 358–366. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.228.

Vymazal, J. 2013. Emergent plants used in free water surface artificial wetlands: A review. *Ecological Engineering*, Vol. 61 (Part B), págs. 582–592. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.06.023.

_____. 2014. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review. E*cological Engineering*, Vol. 73, págs. 724–751. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.034.

Vymazal, J., Březinova, T. D., Koželuh, M. and Kule, L. 2017. Occurrence and removal of pharmaceuticals in four full-scale constructed wetlands in the Czech Republic – the first year of monitoring. *Ecological Engineering*, Vol. 98, págs. 354–364. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.08.010.

Vystavna, Y., Frkova, Z., Marchand, L., Vergeles, Y. and Stolberg, F. 2017. Removal efficiency of pharmaceuticals in a full scale constructed wetland in East Ukraine. *Ecological Engineering*, Vol. 108 (Part A), págs. 50–58. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.009.



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. and Wiberg. D. 2016. Modelling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. *Geoscientific Model Development*, Vol. 9, págs. 175–222. doi.org/10.5194/gmd-9-175-2016.

Walton, B. 2016. *Investors will see a Tighter Connection between Water and Climate. C*ircle of Blue. www.circleofblue.org/2016/world/2016-preview-investors-will-see-tighter-connection-between-water-and-climate/.

Ward, F. A. and Pulido-Velazquez, M. 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol., 105, No. 47, págs. 18215–18220. doi.org/10.1073/pnas.0805554105.

Wagenaar, D. J., De Bruijn, K. M., Bouwer, L. M. and De Moel, H. 2016. Uncertainty in flood damage estimates and its potential effect on investment decisions. *Natural Hazards Earth System Science,* Vol. 16, págs. 1–14. doi.org/10.5194/nhess-16-1-2016.

Wang, Y., Li, L., Wang, X., Yu, X. and Wang, Y. 2007. *Taking Stock of Integrated River Basin Management in China*. Beijing, Science Press.

WBCSD (Consejo Mundial de Empresas por el Desarrollo Sostenible). 2015a. *The Business Case for Natural Infrastructure.* Ginebra/Washington DC, WBCSD www.naturalinfrastructureforbusiness.org/wp-content/uploads/2016/02/WBCSD_BusinessCase_jan2016.pdf.

_____. 2015b. *Water Management and Flood Prevention in France*. WBCSD Natural Infrastructure Case Study. Ginebra/New York/, WBCSD. www.naturalinfrastructureforbusiness.org/wp-content/uploads/2015/11/LafargeHolcim_NI4BizCaseStudy_WaterManagementFloodPrevention.pdf.

WEF (Foro Económico Mundial). 2015. *Global Risks Report 2015*. 10a edición. Ginebra, WEF. reports.weforum.org/global-risks-2015/.

Weiss, H. and Bradley, R. S. 2001. What drives societal collapse? *Science,* Vol. 291, No. 3304, págs. 606-610. doi.org/10.1126/science.1058775.

Weiss, H., Courty, M. A., Wetterstrom, W., Guichard, F., Senior, L., Meadow, R. and Curnow, A. 1993. The genesis and collapse of Third Millenium North Mesopotamian Civilization. *Science*, Vol. 261, No. 5124, págs. 995–1004. doi.org/10.1126/science.261.5124.995.

Wilhite, D. A., Svoboda, M. D. and Hayes, M. J. 2007. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, Vol. 21, No. 5, págs. 763–774. doi.org/10.1007/s11269-006-9076-5.

Wisner, B., Gaillard, J. C. and Kelman, I. (eds.). 2012. *Handbook of Hazards and Disaster Risk Reduction and Management.* London,

Routledge.

WOCAT (World Overview of Conservation Approach and Technologies). 2007. *Where the Land is Greener: Case Studies and Analysis of Soil and Water Conservation Initiatives Worldwide.* CTA/FAO/PNUMA/CDE en nombre del WOCAT.

Woods Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R. and Shaffer, P. 2007. *The SUDS Manual*. Londres, Construction Industry Research and Information Association (CIRIA).

_____. n.d. WAVES sitio web (Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services). www.wavespartnership.org (Accessed July 2017).

WWAP (Programade las Naciones Unidas para la evaluación de los recursos hídricos en el mundo). 2014. *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2014: Agua y energía*. París, UNESCO unesdoc.unesco.org/images/0022/002257/225741E.pdf.

_____. 2015. *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2015: el agua en un mundo sostenible.* París, UNESCO. unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf.

_____. 2016. *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo*. Paris, UNESCO. unesdoc.unesco.org/images/0024/002439/243938e.pdf.

_____. 2017. *Informe Mundial delas Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado.* Paris, UNESCO. www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/.

WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza). 2017. *Natural and Nature-Based Flood Management: A Green Guide*. Washington DC, WWF. www.worldwildlife.org/publications/natural-and-nature-based-flood-management-a-green-guide.

Xu, H. and Horn, O. 2017. *China's Sponge City concept: Restoring the urban water cycle through nature-based solutions*. ICLEI Briefing Sheet. Bonn, Germany ICLEI. www.iclei.org/fileadmin/PUBLICATIONS/Briefing_Sheets/Nature_Based_Solutions/ICLEI_Sponge_City_ENG.pdf (Accessed July 2017).

You, L., Ringler, C., Nelson, G. C., Wood-Sichra, U., Robertson, R. D., Wood, S., Guo, Z., Zhu, T. and Sun, Y. 2010. *What is the Irrigation Potential for Africa? A Combined Biophysical and Socioeconomic Approach*. IFPRI Documento para la discusión. Washington DC, Instituto Internacional de Investigación de Políticas Alimentarias (IFPRI). www.ifpri.org/publication/what-irrigation-potential-africa.

Zalewski, M. (ed.). 2002. *Guidelines for the Integrated Management of the Watershed: Phytotechnology and Ecohydrology.* Freshwater Management Series No. 5. PNUMA. www.unep.or.jp/ietc/Publications/Freshwater/FMS5/.

_____. 2014. Ecohydrology and hydrologic engineering: Regulation of hydrology-biota interactions for sustainability. *Journal of Hydrologic Engineering,* Vol. 20, No. 1. doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000999.

Zalewski, M., Janauer, G. and Jolánkai, G. (eds.). 1997. *Ecohydrology: A New Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources.* Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, International Hydrological Programme (UNESCO-PHI). unesdoc.unesco.org/images/0010/001062/106296e.pdf.

Zhang, D. Q., Jinadasa, K. B. S. N., Gersberg, R. M., Liu, Y., Ng, W. J. and Tan, S. K. 2014. Application of artificial wetlands for wastewater treatment in developing countries: A review of recent developments (2000–2013). *Journal of Environmental Management*, Vol. 141, págs. 116–131. doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.03.015.

Zhang, D. Q., Tan, S. K., Gersberg, R. M., Sadreddini, S., Zhu, J. and Tuan, N. A. 2011. Removal of pharmaceutical compounds in tropical artificial wetlands. *Ecological Engineering*, Vol. 37, No. 3, págs. 460–464. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.11.002.

Zhang, L., Podlasly, C., Feger, K. H., Wang, Y. and Schwärzel, K. 2015. Different land management measures and climate change impacts on the discharge: A simple empirical method derived in a mesoscale catchment on the Loess Plateau. *Journal of Arid Environment*, Vol. 120, págs. 42–50. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.04.005.

Zhang, L., Dawes, W. R. and Walker, G. R. 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*, Vol. 37, No. 3, págs. 701–708. doi.org/10.1029/2000WR900325.

Zhang, Y. K. and Schilling, K. E. 2006. Increasing streamflow and baseflow in Mississippi River since the 1940s: Effect of cambio de uso del suelo. *Journal of Hydrology*, Vol. 324, No. 1–4, págs. 412–422. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.09.033.

Zhao, L., Wu, L., Li, Y., Lu, X., Zhu, D. and Uphoff, N. 2009. Influence of the system of rice intensification on rice yield and nitrogen and water use efficiency with different N application rate. *Experimental Agriculture*, Vol. 45, No. 3, págs. 275–286. doi.org/10.1017/S0014479709007583.

# ABREVIATURAS Y SIGLAS

| | |
|---|---|
| **AGWA** | Alianza para la Adaptación Global del Agua |
| **CDB** | Convenio sobre la Diversidad Biológica |
| **CE** | Comisión Europea |
| **CEPAL** | Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe |
| **CEPE** | Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa |
| **CNULD** | Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación |
| **CRED** | Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres |
| **CRP** | Programa de Reservas para la Conservación (EE.UU.) |
| **DSU** | Desbordamientos de Alcantarillado Combinado |
| **CWA** | Clean Water Act (EE.UU.) |
| **DEP** | Departamento de Protección Ambiental (Nueva York) |
| **DRC** | República Democrática del Congo |
| **EPMAPS** | Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (Quito) |
| **FAO** | Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación |
| **FONAG** | Fondo para la Protección del Agua (Ecuador) |
| **GIRH** | Gestión Integrada de los Recursos Hídricos |
| **GAP** | Programa de Acción Global |
| **GWD** | Agotamiento de agua subterránea para riego |
| **IAHS** | Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas |
| **CIPR** | Comisión Internacional para la Protección del Rin |
| **IHE** | Instituto Delft para la Educación relativa al Agua |
| **IIASA** | Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados |
| **UICN** | Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza |
| **ISRBC** | Comisión Internacional para la Cuenca del río Sava |
| **IWMI** | Instituto Internacional de Gestión del Agua |
| **ALC** | América Latina y el Caribe |
| **LULUC** | Uso del suelo y cambio de uso de suelo |
| **MAR** | Recarga Gestionada de Acuíferos |
| **MdE** | Memorando de Entendimiento |
| **NUA** | Nueva Agenda Urbana |
| **NYC** | Ciudad de Nueva York |
| **ODS** | Objetivos de Desarrollo Sostenible |
| **OCDE** | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico |
| **OIT** | Organización Internacional del Trabajo |
| **ONG** | Organización No Gubernamental |

| | |
|---|---|
| **PNUMA** | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| **PSA** | Pago por Servicios Ambientales |
| **PHI** | Programa Hidrológico Internacional |
| **PIB** | Producto Interno Bruto |
| **RRD** | Reducción del Riesgo de Desastres |
| **SASS** | Sistema de Puntuación para la Evaluación de Arroyos |
| **SbN** | Soluciones Basadas en la Naturaleza |
| **S2S** | De la Fuente al Mar (Source to Sea) |
| **IHIE** | Instituto Hídrico Internacional de Estocolmo |
| **SOW-VU** | Centro de Estudios sobre la Alimentación en el Mundo, Vrije Universiteit de Amsterdam |
| **SPR** | De la Fuente al Camino al Receptor (Source to Pathway to Receptor) |
| **SRB** | Cuenca del Río Sava |
| **SIR** | Sistema de Intensificación del Cultivo del Arroz |
| **SUDS** | Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible |
| **TNC** | The Nature Conservancy |
| **UE** | Unión Europea |
| **UK** | Reino Unido |
| **ONU** | Organización de las Naciones Unidas |
| **VIH** | Virus de la Inmunodeficiencia Humana |
| **CESPAP** | Comisión Económica y Social de las Naciones Unidas para Asia y el Pacífico |
| **UNESCO** | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura |
| **CESPAO** | Comisión Económica y Social de las Naciones Unidas para Asia Occidental |
| **CMNUCC** | Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático |
| **ONUDI** | Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial |
| **UNU** | Universidad de las Naciones Unidas |
| **EE.UU.** | Estados Unidos de América |
| **USAID** | Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional |
| **UTFI** | Domesticación Subterránea de Inundaciones para la Irrigación |
| **WaSH** | Agua, Saneamiento e Higiene |
| **WBCSD** | Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible |
| **DMA** | Directiva marco del agua de la UE |
| **OMM** | Organización Meteorológica Mundial |
| **WWAP** | Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos |
| **WWDR** | Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo |
| **WWF** | Fondo Mundial para la Naturaleza |

# CUADROS, FIGURAS Y TABLAS

## Cuadros


**Cuadro 1.1** Ecohidrología 27

**Cuadro 2.1** Almacenamiento de agua basado en la naturaleza en ríos secos en África 45

**Cuadro 2.2** Beneficios de las SbN a escala - Restauración del paisaje para mejorar la seguridad hídrica en Rajasthan, India 46

**Cuadro 2.3** Agricultura de conservación – Un enfoque para la intensificación de la producción sostenible 48

**Cuadro 2.4** El Sistema de Intensificación del Arroz (más productividad con menos agua) 49

**Cuadro 2.5** La restauración del paisaje mejora los múltiples resultados del agua para el río Tana, Kenia 51

**Cuadro 2.6** Concepto de las “Ciudades esponja” de China 52

**Cuadro 2.7** Los servicios de cuenca brindan un aumento de cinco veces la esperanza de vida operativa de la Represa hidroeléctrica de Itaipú en la cuenca del Paraná, en Brasil 53

**Cuadro 2.8** El enfoque S2S 56

**Cuadro 3.1** El Programa de Reservas de Conservación de los Estados Unidos para proteger la calidad del agua 61

**Cuadro 3.2** Mejora de la calidad del agua utilizando franjas de amortiguación en las tierras agrícolas europeas 64

**Cuadro 3.3** Remoción de productos farmacéuticos en un humedal artificial en Ucrania 66

**Cuadro 3.4** Mejorando los suministros de agua subterránea y la calidad del agua mediante el uso de suelos para el tratamiento terciario de las aguas residuales en Israel 67

**Cuadro 3.5** Uso de Daphnia y algas para el monitoreo de la toxicidad del agua y la detección temprana de descargas contaminantes - Estación de calidad del agua del Rin en Worms, Alemania 67

**Cuadro 3.6** Los Fondos de Agua como medio para implementar las SbN para la protección de las cuencas 69

**Cuadro 4.1** La gestión del agua y la prevención de inundaciones en Francia – LafargeHolcim 86

**Cuadro 4.2** Evaluación del concepto UTFI en la cuenca del río Chao Phraya, Tailandia 88

**Cuadro 5.1** Restauración de sistemas Hima en Jordania 92

**Cuadro 5.2** Experiencia con el PSA en la región Asia-Pacífico 94

**Cuadro 5.3** Esquema de PSA en el lago Naivasha, Kenia 94

**Cuadro 5.4** Fondo de Agua del Alto Tana-Nairobi 96

**Cuadro 5.5** Fondo para la Conservación del Agua de Quito (FONAG) 97

**Cuadro 5.6** Las SbN en entornos urbanos: Nueva York 99

**Cuadro 5.7** Más allá del tratamiento de aguas residuales – la multifuncionalidad de los humedales construidos 100

**Cuadro 5.8** Humedales construidos en Egipto y Líbano 101

**Cuadro 5.9** Las SbN y la DMA de la UE: Experiencias de proyectos piloto en la región del Mar del Norte 101

**Cuadro 5.10** Las SbN en la gestión del agua y los servicios de agua en el contexto de la implementación de la DMAde la UE: La Cuenca del Rin 102

**Cuadro 5.11** El valor de los activos naturales y la importancia de la cooperación transfronteriza en la cuenca del río Sava (SRB) 103

**Cuadro 5.12** Mecanismos de compensación para la Ley de Servicios Ecosistémicos (Perú) 103

**Cuadro 5.13** Las evaluaciones holísticas y cuantitativas que permiten opciones comparables de inversión en infraestructura pueden favorecer a las SbN 104

**Cuadro 6.1** Financiamiento de la resiliencia del agua: Surgimiento de bonos verdes y climáticos para el agua 109

**Cuadro 6.2** La Iniciativa Ecuatorial: Promoción de las SbN involucrando a las comunidades indígenas 116

## Figuras


**Figura 1** Mapa físico de la escasez de agua en 2010 y el cambio previsto de la escasez de agua* para el 2050 con base en un escenario prudencial (SSP2)** 14

**Figura 2** Contribución de cultivos específicos al agotamiento de las aguas subterráneas en todo el mundo en 2010 15

**Figura 3** Mapa de las extracciones de agua subterránea en el 2010 (figura superior) y aumentos en la extracción de agua subterránea para el 2050 por encima de los niveles del 2010 (figura inferior) en base al escenario prudencial 16

**Figura 4** Índices de riesgo de la calidad del agua de las principales cuencas fluviales durante el período de referencia (2000-2005) en comparación con el año 2050 (índice de nitrógeno en el escenario medio** del CSIRO* ) 17

**Figura 5** Porcentaje de participación de la agricultura en las emisiones totales de nitratos y fósforo en los países de la OCDE, 2000 - 2009 18

**Figura 6** Pronóstico de futuros cambios en el contenido medio de humedad del suelo en la capa superior de 10 cm en variación porcentual* desde1980-1999 hasta 2080-2099 20

**Figura 1.1** Rutas hidrológicas generalizadas en un paisaje natural y un entorno urbano 29

**Figura 1.2** Reciclaje de precipitaciones continentales (1999–2008) 31

**Figura 1.3** Fuentes de precipitación en la región del Sahel 32

**Figura 1.4** Soluciones de infraestructura natural o verde para la gestión del agua a través de un paisaje 37

**Figura 1.5** Enfoques evolutivos del nexo agua-ecosistema. El énfasis se ha desplazado de la observación de los impactos en los ecosistemas a la gestión de los ecosistemas para el logro de los objetivos de gestión hídrica 38

**Figura 1.6** Tendencias en el número de trabajos de investigación que citan las SbN y enfoques relacionados 1980-2014 39

**Figura 2.1** La relación entre la infraestructura construida y los servicios ecosistémicos 44

**Figura 4.1** Impactos anuales promedio de las sequías e inundaciones a nivel mundial en base a los datos del período 2006-2015 74

**Figura 4.2** Cambios en los flujos de beneficios con la modificación del ecosistema 77

**Figura 4.3** Ejemplo del concepto SPR de la OMM 78

**Figura 4.4** Medidas más efectivas de SbN regionales para reducir los picos de inundación en un aluvión de 20 años 80

**Figura 4.5** Efecto de diferentes intervenciones SbN en la reducción de picos de inundación y efecto combinado de intervenciones de cuenca con magnitud de inundación 81

**Figura 4.6** Mapas globales de peligro de sequía y riesgo 82

**Figura 4.7** El continuum del almacenamiento de agua 85

**Figura 4.8** Un resumen esquemático del concepto UTFI 87

**Figura 5.1** Un esquema típico de PSA de cuencas hidrográficas 94

**Figura 5.2** Subvenciones públicas para la protección de cuencas en 2015: Países con programas de subvenciones públicas y participación de los contribuidores en el valor total por región 95


## Tablas


**Tabla 1** Estado global y tendencia de las amenazas del suelo, excluida la Antártida 23

**Tabla 1.1** Ejemplos de servicios ecosistémicos y algunas funciones que desempeñan 34

**Tabla 1.2** Soluciones de infraestructura verde para la gestión de los recursos hídricos 36

**Tabla 3.1** Categorías de actividades comunes de protección de fuentes de agua 62

**Tabla 3.2** Calidad del agua en los ODS 70

**Tabla 4.1** Medidas basadas en la captación que contribuyen a la gestión de inundaciones 79

**Tabla 4.2** Las SbN para la gestión de riesgos de sequía en el Cuerno de África 83

**Tabla 7.1** La potencial contribución de las SbN para lograr las metas del ODS 6 sobre agua y saneamiento y su potencial para contribuir a otras metas 127

**Tabla 7.2** La potencial contribución de las SbN (para el agua) a otros ODS y sus metas mediante la entrega de beneficios colaterales no relacionados con el agua 128

# CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS

**Resumen Ejecutivo**
p. 1 © Sundry Photography/Shutterstock.com

**Prólogo**
p. 11 © Komjomo/Shutterstock.com

**Capítulo 1**
p. 25 © Phanuwat Nandee/Shutterstock.com

**Capítulo 2**
p. 43 © Uwe Bergwitz/Shutterstock.com

**Capítulo 3**
p. 59 © Leoni Meleca/Shutterstock.com

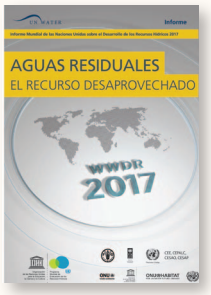
**Capítulo 4**
p. 73 © DIIMSA Researcher/Shutterstock.com

**Capítulo 5**
p. 91 © Trabantos/Shutterstock.com
p. 106 © Naeblys/Shutterstock.com

**Capítulo 6**
p. 107 © Georgina Smith/CIAT, www.fickr.com CC BY-NC-SA 2.0
p. 116 © Ruud Morijn Photographer/Shutterstock.com

**Capítulo 7**
p. 119 © Olga Kashubin/Shutterstock.com
p. 127 © Anna Om/Shutterstock.com

# INFORME MUNDIAL DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL DESARROLLO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS







ISbN 978-92-3-300058-2
© UNESCO 2017
204 páginas
Precio: EUR 45.00

**WWDR 2017** A todo color, con léxico, cuadros, figuras, mapas, tablas, notas, referencias y lista de abreviaturas y siglas, así como prólogos de la Directora General de la UNESCO Irina Bokova y el Presidente de ONU-Agua y Director General de la OIT Guy Ryder







ISbN 978-92-3-300083-4
© UNESCO 2018
170 páginas
Precio: EUR 45.00

**WWDR 2018** A todo color, con cuadros, figuras, mapas, tablas, notas, referencias y lista de abreviaturas y siglas, así como prólogos de la Directora General de la UNESCO Audrey Azoulay y el Presidente de ONU-Agua y President del FIDA Gilbert F. Houngbo

**Para comprar una copia impresa del libro, por favor, visite :** publishing.unesco.org

**Para solicitar un CD-ROM con el informe y publicaciones afi nes, por favor escriba a :** wwap@unesco.org

**Para descargar la versión PDF del informe y publicaciones afi nes, ediciones anteriores del WWDR y material de divulgación, visite :** http://www.unesco.org/water/wwap

**Contenido de la memoria USB:** El WWDR 2018, el Resumen Ejecutivo del WWDR 2018 en 9 idiomas, los Datos y Cifras en 5 idiomas y ediciones anteriores del WWDR

## PUBLICACIONES AFINES




Resumen Ejecutivo del WWDR 2017

12 páginas

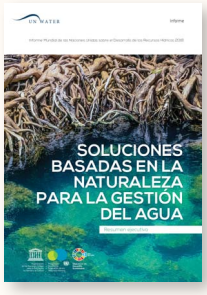
Disponible en alemán, árabe, chino, español, francés, hindi, inglés, italiano, portugués y ruso




Datos y Cifras del WWDR 2017

12 páginas

Disponible en inglés, español francés, italiano y portugues




Resumen Ejecutivo del WWDR 2018

12 páginas

Disponible en alemán, árabe, chino, español, frances, hindi, inglés, italiano, portugues y ruso




Datos y Cifras del WWDR 2018

12 páginas

Disponibles en español, francés, inglés, italiano y portugués

**Para descargar estos documentos visite :** www.unesco.org/water/wwap

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

World Water Assessment Programme

WWDR 2018

# INFORMES DE ONU-AGUA

ONU-Agua es el mecanismo interinstitucional de las Naciones Unidas sobre todas las cuestiones relacionadas con el agua dulce, incluido el saneamiento. Se creó formalmente en 2003 tomando como base una larga trayectoria de colaboraciones en el seno de la familia de las Naciones Unidas. ONU-Agua está formado por entidades de las Naciones Unidas (miembros) cuya labor se centra en cuestiones relacionadas con el agua o que tienen un interés especial en la materia y otras organizaciones internacionales no pertenecientes al sistema de las Naciones Unidas (asociados).

El objetivo principal de ONU-Agua es complementar los programas y proyectos vigentes y aportarles valor añadido, al facilitar el desarrollo de sinergias y actividades conjuntas que aumenten la coordinación y la coherencia en todo el sistema. De este modo, ONU-Agua pretende aumentar la eficacia del apoyo que se brinda a los Estados miembros en sus iniciativas encaminadas a cumplir los acuerdos internacionales sobre los recursos hídricos.

## INFORMES PERIÓDICOS

### Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos

Consiste en la publicación de referencia del sistema de las Naciones Unidas sobre el estado de los recursos de agua dulce. Es el resultado de la estrecha colaboración que mantienen los miembros y asociados de ONU-Agua y representa la respuesta coherente e integrada del sistema de las Naciones Unidas a las cuestiones relativas al agua dulce y los nuevos desafíos. La producción del informe es coordinada por el Programa Mundial e las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos d de la UNESCO, y el tema del informe se armoniza con el del Día Mundial del Agua (22 de marzo). Entre 2003 y 2012, el Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos se publicó cada tres años y desde 2014 se elabora anualmente con el objetivo de proporcionar la información más actualizada y precisa sobre cómo se afrontan los desafíos relacionados con el agua en todo el mundo.

- ✓ Visión estratégica
- ✓ Estado, usos y gestión de los recursos hídricos
- ✓ Mundial
- ✓ Evaluaciones regionales
- ✓ Trienal (2003-2012)
- ✓ Anual (desde 2014)
- ✓ Armonización con el tema del Día Mundial del Agua (22 de marzo)

### Evaluación anual mundial de ONU-Agua sobre saneamiento y agua potable (GLAAS, por sus siglas en inglés)

La evaluación, realizada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en nombre de ONU-Agua, proporciona una actualización mundial de los marcos de políticas, los acuerdos institucionales, la base de recursos humanos y las corrientes de fondos nacionales e internacionales que se destinan al saneamiento y el agua potable. Representa una contribución de vital importancia a las actividades de la alianza Saneamiento y Agua para Todos (SWA, por sus siglas en inglés).

- ✓ Visión estratégica
- ✓ Abastecimiento de agua y saneamiento
- ✓ Mundial
- ✓ Evaluaciones regionales
- ✓ Bienal (desde 2008)

### Informe de progreso del Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento (JMP, por sus siglas en inglés)

Este informe se integra en la labor de ONU-Agua y presenta los resultados del monitoreo mundial de los progresos en materia de acceso al agua potable y de higiene y saneamiento. El monitoreo se basa tanto en los resultados de encuestas de hogares y censos generalmente realizados por las oficinas nacionales de estadística en consonancia con criterios internacionales, como de modo creciente en conjuntos de datos nacionales administrativos y normativos.

- ✓ Estado y tendencias
- ✓ Abastecimiento de agua y saneamiento
- ✓ Mundial
- ✓ Evaluaciones regionales y nacionales
- ✓ Bienal (1990-2012)
- ✓ Actualizaciones anuales (desde 2013)

## PUBLICACIONES DE ONU-AGUA PREVISTAS PARA 2018

- Informe de Síntesis sobre el ODS 6 para 2018 relativo al agua y el saneamiento
  El Informe de Síntesis sobre el ODS 6 para el año 2018, preparado por un equipo de trabajo de 13 miembros y socios de ONU-Agua , se publicará en junio de 2018, antes de la celebración del Foro Político de Alto Nivel sobre el Desarrollo Sostenible (HLPF, por sus siglas en inglés), en el que los Estados Miembros efectuarán un examen detallado del ODS 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. El informe ofrecerá una visión del estado mundial de todas las metas e indicadores del ODS 6 fundada en mecanismos de monitoreo del ODS 6, proporcionará un análisis de las relaciones entre las metas del ODS 6 y entre estas y otros ODS, y sugerirá mensajes de relevancia política destinados a acelerar la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.
- Actualización del Informe de Política de ONU-Agua sobre Agua y Cambio Climático
- Informe de Política de ONU-Agua sobre los Convenios en materia de Agua
- Informe Analítico de ONU-Agua sobre la eficiencia hídrica

**Más información sobre el Informe de las Naciones Unidas en: www.unwater.org/publications**

La UNESCO acoge y dirige el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP), que reúne la labor de los numerosos miembros y socios de ONU-Agua, para producir la serie del Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo.

Estos informes anuales se centran en cuestiones estratégicas en materia de agua. Los miembros y socios de ONU-Agua, así como otros expertos, contribuyen con los conocimientos más recientes sobre un tema específico.

La edición 2018 del Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo tiene la finalidad de informar a los hacedores de políticas y tomadores de decisiones, dentro y fuera de la comunidad hídrica, sobre el potencial de las soluciones basadas en la naturaleza (SBN) para abordar los desafíos actuales de la gestión del agua en todos los sectores, y especialmente en lo relativo al agua para la agricultura, ciudades sostenibles, reducción del riesgo de desastres y calidad del agua.

La gestión hídrica permanece fuertemente dominada por la infraestructura tradicional, construida por el hombre (es decir, "gris"), y el enorme potencial de las SBN continúa infrautilizado. Las SBN incluyen la infraestructura verde, que puede sustituir, aumentar o trabajar en paralelo con la infraestructura gris de manera rentable. El objetivo consiste en encontrar la combinación más adecuada de inversión verde y gris para maximizar los beneficios y la eficiencia del sistema, a la vez que se minimizan los costos y los trade-off.

Las SBN para el agua son centrales en el cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, dado que también generan beneficios sociales, económicos y ambientales colaterales, incluyendo la salud humana y medios de subsistencia, seguridad alimentaria y energética, crecimiento económico sostenible, trabajos decentes, rehabilitación y mantenimiento de los ecosistemas y biodiversidad. Si bien las SBN no constituyen una panacea, desempeñarán un papel esencial en la economía circular y en la construcción de un futuro más equitativo para todos.

Esta publicación fue financiada por el Gobierno de Italia y la Región de Umbría

Regione Umbria

9 789233 000834