CAPÍTULO 8

RECURSOS HÍDRICOS

El aumento de la demanda de agua crea escasez, agota las fuentes de agua subterránea y se traduce en altos niveles de sal en los suelos. Al mismo tiempo, los humedales están desapareciendo rápidamente debido al drenaje, la conversión y la alteración de las corrientes naturales. Estas tendencias tienen serias repercusiones en la salud y el medio ambiente: la reducción de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad, y en consecuencia altas emisiones de carbono, hundimiento del suelo, pérdida de tierras productivas e inseguridad hídrica. El actual modelo de negocio de la agricultura, la energía y la industria, incluyendo el precio del agua y el comercio, crea incentivos perversos para el desperdicio de agua. La rápida urbanización no planificada y el cambio climático empeoran las cosas.

Es esencial un enfoque integrado de la gestión de los recursos terrestres e hídricos: esto implica reducir la demanda y aumentar la eficiencia de la utilización, proteger y restaurar los humedales y las cuencas en nuestros paisajes funcionales, incentivar el uso sostenible y diseñar ciudades más sostenibles. Tenemos el conocimiento técnico-sobre cómo gestionar de manera sostenible el suministro mundial de agua, pero necesitamos una acción coordinada y la voluntad política de incentivar el reparto equitativo del agua y mejorar las prácticas de gestión a escalas progresivamente mayores.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el éxito y el fracaso de las comunidades humanas han estado estrechamente vinculados a la eficacia de la gestión del agua. Las primeras grandes civilizaciones se desarrollaron en las riberas de los principales ríos –como el Nilo en Egipto,[1] el Tigris y el Éufrates en Mesopotamia, el Indus en India y Pakistán, y el Río Amarillo en China– aprovechando la abundancia estacional para abastecer sistemas de irrigación y crear excedentes agrícolas. Los sistemas de irrigación también ayudaron a los agricultores a mudarse a las zonas áridas, o a sobrevivir a los cambios en las pautas metereológicas.[2] El eventual colpaso de estas civilizaciones fue provocado en parte por el fracaso de sus sistemas de agua,[3] donde la mala gestión condujo a problemas como la desecación, el anegamiento y la salinización.[4]

Hoy en día el mundo se enfrenta a problemas cada vez mayores relacionados con las interacciones tierra–agua y la seguridad hídrica, que han alcanzado niveles de crisis en muchos países y regiones. Las cuestiones clave incluyen el uso excesivo y el desperdicio; fluctuaciones en la abundancia, con una frecuencia creciente de sequías e inundaciones; una mala calidad del agua, con impactos en la salud ambiental y humana; y los efectos en cadena de la degradación de la tierra. El mundo se está volviendo más urbano y la mitad de la población ya vive en ciudades y es probable que esta tasa aumente al 66 por ciento en 2050,[5] ejerciendo aún más presión sobre los sistemas urbanos de abastecimiento de agua y saneamiento. Si bien la escasez extrema de agua y las inundaciones son en muchos casos inducidas por el ser humano, los impactos del cambio climático añaden un nuevo y potente factor que empeora una situación que ya era precaria.

Los bienes y servicios de agua procedentes de los humedales contribuyen significativamente a la economía mundial. Un análisis reciente de más de 300 evaluaciones de servicios ecosistémicos estimó una contribución media de 25 682 dólares por hectárea y año de las aguas continentales y 4 267 dólares USA por hectárea y año de los lagos y ríos,[6] a menudo considerados «bienes gratuitos» en el análisis económico convencional. Los humedales continentales y costeros continúan degradándose o perdiéndose a un ritmo alarmante;[7] son fundamentales para el ciclo global del agua y para regular la disponibilidad y calidad del agua local. El valor total de los servicios que prestan los humedales en Asia se estima en 70 000 millones de dólares anuales.[8] Mientras que algunos países reconocen la naturaleza de los riesgos y beneficios y realizan inversiones estratégicas en sus sistemas de gestión del agua, otros han hecho poco para abordar el estrés hídrico por medio de políticas o la innovación.

A pesar de los cambios demográficos y ambientales masivos, los problemas del agua están más arraigados en los enfoques de gestiión, en los modelos de negocios y políticas y políticas y en prácticas anticuadas, mas que en aquellos basados en limitaciones físicas. La base técnica para la gestión sostenible del agua se comprende bien, lo que sugiere que las soluciones deben orientarse principalmente a cambiar el comportamiento y alentar un enfoque de sistemas multifuncionales para la gestión del agua.[9] Conseguir la correcta gestión del agua es absolutamente crucial para el futuro bienestar de las personas y el medio ambiente.

© UN Photo/Albert Gonzalez Farran

SIETE ASPECTOS DE LA INSEGURIDAD HÍDRICA

A pesar de los años de esfuerzo durante el Decenio para la Acción (2005–2015) «Agua para la Vida» de la ONU, el *Informe Global de Riesgo 2016* del Foro Económico Mundial identificó las posibles crisis de agua entre los diez principales riesgos a los que se enfrenta el mundo y las clasificó como el tercer riesgo mundial en términos de impacto potencial.[10] Sin embargo, el agua sigue siendo marginada en las discusiones sobre el papel de los recursos de tierras y naturales en el desarrollo económico.

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, «*Agua potable y saneamiento: garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos,*» esperemos que sirva para atraer más atención sobre estas cuestiones.[13] Un ciclo del agua saludable es quizás el componente más crucial de las políticas y prácticas sostenibles y equitativas de gestión de la tierra.

La seguridad hídrica se define como la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para sustentar 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.[14]

El Congreso Mundial del Agua de 2015 señaló: «*A pesar de su importancia en términos de seguridad, a menudo el agua no es considerada como un factor determinante para el desarrollo y está ausente de muchas agendas políticas*».[11] El *Informe Mundial sobre el Desarrollo del Agua 2012* reconoció que *«los riesgos relacionados con el agua representan el 90% de todos los riesgos naturales, y su frecuencia e intensidad está aumentando».* Además, el informe correspondiente de 2015 subrayó los vínculos entre el agua y la pobreza, el medio ambiente y la gobernanza: la mala gestión del agua tiene un impacto negativo en los tres temas.[12]

Aquí analizamos siete aspectos distintos de la inseguridad hídrica:

1. **La escasez de agua** produce impactos temporales o prolongados en el suministro
2. **Baja calidad del agua** para el consumo humano y en el medio ambiente en general
3. **Aumento del número de eventos climáticos extremos,** incluyendo inundaciones y sequías
4. **Interrupción de las corrientes naturales** en un número creciente de ríos y masas de agua interiores
5. **Degradación de la tierra** como consecuencia de la alteración de la hidrología y la mala gestión del riego
6. **Impactos del cambio climático** debido a emisiones de gases de efecto invernadero desde los sistemas hídricos y los humedales
7. **Pérdida de biodiversidad** y de servicios ecosistémicos relacionados con el agua

4. Alteración de los cursos naturales

En un número creciente de ríos y cuerpos de agua interiores

1/5

De los ríos de flujo libre que quedan en el planeta se reducirá debido a la energía hidráulica

5. Degradación de la tierra

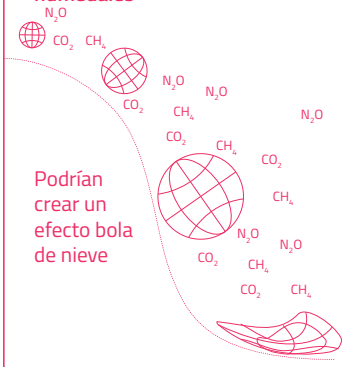
Como resultado de la alteración de la hidrología y la mala gestión de riegos

20%

de las zonas de tierras de regadío sufrieron reducciones en el rendimiento de las cosechas debido a la salinidad

6. Los impactos del cambio climático

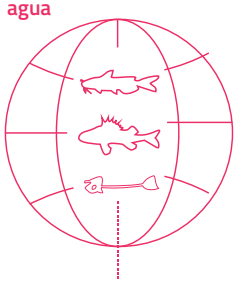
A causa de la emisión de gases de efecto invernadero debida a sistemas hídricos y humedales



Podrían crear un efecto bola de nieve

7. Pérdida de biodiversidad

Y servicios ecosistémicos relacionados con el agua



Una de cada tres especies de peces de agua dulce está amenazada de extinción

1. Escasez de agua

Más de 1700 millones de personas viven en cuencas hidrográficas donde el uso del agua es mayor que la tasa de reposición natural; si esta tendencia continúa, dos tercios de la población mundial vivirá en países afectados por el estrés hídrico en 2025.[15] Otras estimaciones son aún más pesimistas, ya que hasta 4000 millones de personas, más de la mitad de la población del planeta, ya sufren estrés hídrico durante al menos un mes al año y 500 millones sufren estrés hídrico permanente;[16] El 71 por ciento de la superficie irrigada del mundo y el 47 por ciento de las grandes ciudades experimentan como mínimo escasez periódica de agua.[17]

La escasez se debe no sólo a una población creciente, sino también al aumento desproporcionado de los niveles de uso y desperdicio, así como a la pérdida de la capacidad de retención de agua y de suministro de los humedales. A medida que los seres humanos se desconectan más de los recursos hídricos, generalmente se vuelven más descuidados en su utilización. Al mismo tiempo, la falta de regímenes de fijación de precios en muchos sistemas de producción industrial, energética y agrícola trata efectivamente al agua como un insumo libre o muy barato, lo que fomenta aún más el desperdicio. En el último siglo, la población mundial se triplicó mientras que el consumo de agua se multiplicó por seis,[18] en gran parte debido al uso agrícola.[19] Varias previsiones indican que la demanda de agua pronto superará el suministro fiable de agua a escala mundial.[20,21,22] Nuestra comprensión de la gravedad y localización del estrés hídrico está mejorando; modelos cada vez más sofisticados pueden identificar puntos críticos en el sistema fluvial y de captación, así como áreas críticas de escasez.[23,24,25]

La escasez de agua es una función tanto de la disponibilidad como de uso: algunas regiones muy secas no aparecen como puntos críticos debido a la baja densidad de población o las prácticas de gestión eficientes, mientras que las regiones muy pobladas o industrializadas pueden sufrir escasez de agua incluso si tienen más lluvias. Algunos de los eventos de desecación más dramáticos del mundo, como la notoria pérdida del mar de Aral entre Kazajstán y Uzbekistán[27] y la desecación del lago Chad entre Chad, Níger y Nigeria,[28] se deben casi exclusivamente a la desviación de las corrientes de agua río arriba. Los lugares con escasez crítica actualmente incluyen gran parte de la India y China, grandes áreas del centro y oeste de los Estados Unidos, el sur de África, la región mediterránea, Asia Central y el margen occidental de América del Sur. Se prevé que algunas zonas que todavía tienen que hacer frente a la escasez, como grandes partes de África, van a tener que enfrentarse a problemas importantes debido al crecimiento demográfico y la urbanización.[29] Los lugares críticos de escasez o inundaciones pueden estar relacionados con la pérdida estacional de la capacidad de retención de agua en las cuencas debido a la degradación de los humedales, en particular los humedales o turberas de alta montaña en el sudeste de Asia y Rusia, que provocan una escasez de agua extrema en los años secos y aumentan el riesgo de incendios.[30]

La inseguridad hídrica puede contribuir a la inestabilidad social y a la inseguridad política, causando tensiones dentro[31] y entre países. Varias cuencas hidrográficas están particularmente en peligro, como el Ganges–Brahmaputra, Han, Incomati, Kunene, Kura–Araks, Lago Chad, La Plata, Lempa, Limpopo, Mekong, Ob (Ertis), Okavango, Orange, Salween, Senegal, Tumen y Zambezi.[32] Mientras que algunos creen que las

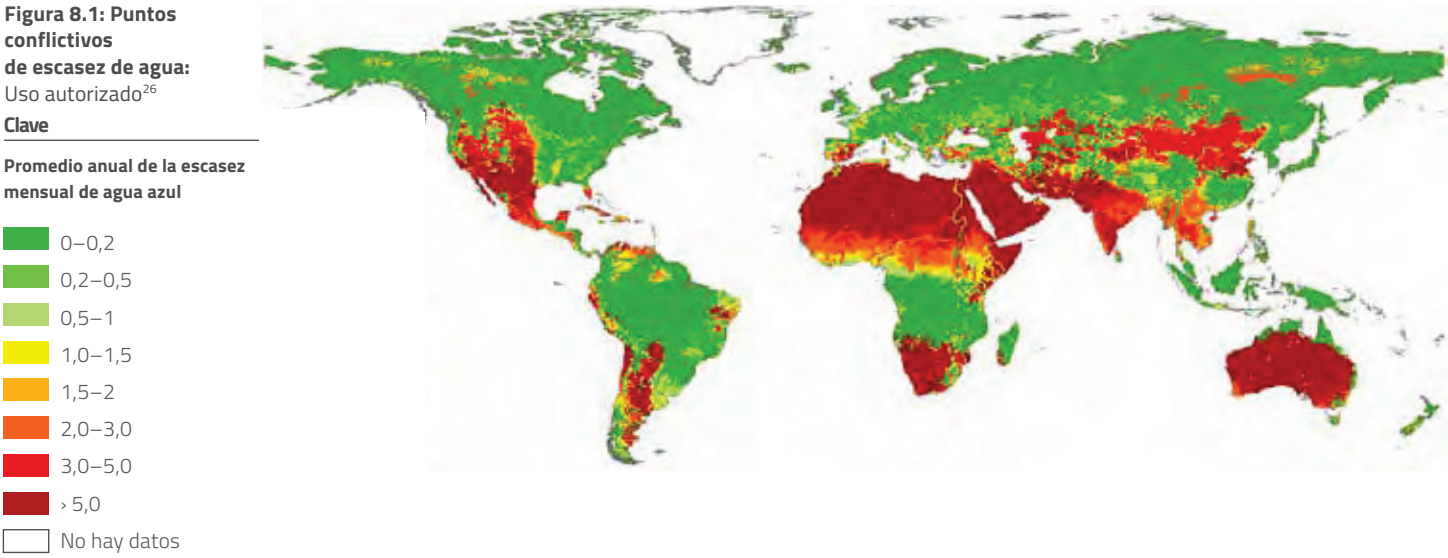


Figura 8.1: Puntos conflictivos de escasez de agua: Uso autorizado[26]

tensiones podrían eventualmente crear un conflicto abierto, las llamadas «guerras del agua»,[33,34] otros ponen en duda que las tensiones puedan convertirse en conflictos entre estados.[35] El debate continúa, ya que algunos señalan que la variabilidad de las precipitaciones es un factor más importante en promover conflictos, o incluso la abundancia de agua como causa, mientras que otros se centran en el papel de las presas en la interrupción de las corrientes de agua entre países. Las naciones son muy conscientes de las tensiones y desde 1820 se han firmado más de 680 tratados sobre el agua para explorar enfoques negociados de las disputas sobre los recursos de agua dulce, y el número de tratados va en aumento.[36] La mayoría de los analistas coinciden en que la probabilidad de que las tensiones den lugar a conflictos son mayores a nivel local que a escala mundial;[37] de hecho, la realidad de un conflicto localizado, a menudo violento, debido en parte a la degradación ambiental, ya está bien reconocida.[38]

Uno de los resultados del estrés hídrico, en países con cada vez menos recursos de agua de superficie, es el aumento del uso de las aguas subterráneas. Algunos de estas se están explotando más rápido de lo que se reponen; aunque esto puede deberse en parte a la reducción en la recarga del sistema de aguas subterráneas como resultado de la variación climática, la llamada «minería» de fuentes de agua no renovables no se considera una opción sostenible. Mientras que algunos depósitos de agua subterránea siguen siendo muy grandes, con reservas que se prevé que duren muchas décadas en el futuro, la seguridad del agua está siendo amenazada por el rápido agotamiento de otros,[39] particularmente en las tierras secas,[40] incluyendo la llanura del Norte de China, partes de Australia, el sistema acuífero del Noroeste del Sáhara, el Acuífero Guaraní en América del Sur, los acuíferos de las Altas Planicies y del Valle Central de los Estados Unidos y los acuíferos del noroeste de la India y Oriente Medio.[41] A nivel mundial, 1700 millones de personas viven en zonas donde los recursos de aguas subterráneas o los ecosistemas dependientes de las aguas subterráneas están amenazados.[42] El agua subterránea representa hasta un tercio de la extracción mundial de agua, abasteciendo a 2000 millones de personas y más del 40 por ciento del agua de riego.[43] Los países con las áreas más extensas que usan sistemas de riego de aguas subterráneas son India (39 millones de hectáreas), China (19 millones de hectáreas) y Estados Unidos (17 millones de hectáreas).[44] El conocimiento sobre el nivel de las reservas sigue siendo muy limitado en algunas áreas,[45] y la falta de regulación ha llevado a menudo a un uso no regulado.

La agricultura es, mayoritariamente, el motor más importante de la escasez de agua en todo el mundo; el riego representa el 70 por ciento de las extracciones de agua en el mundo, e incluso más en ciertos lugares que se enfrentan a una apremiante escasez de agua.[46] La mayoría de los terrenos nuevos que se han introducido en la producción en los últimos cincuenta años se riegan,[47] y de acuerdo con algunos cálculos la demanda de agua en la agricultura podría duplicarse para 2050 debido a las crecientes demandas de alimentos.[48] La agricultura intensiva o de monocultivo generalmente usa más agua; otros usos se dividen entre la demanda de los sectores industrial y energético (20 por ciento) y municipios (10 por ciento). Los factores típicos que contribuyen al uso excesivo del agua en la agricultura son los sistemas de riego con fugas, el derroche en la aplicación en los campos y el cultivo de cosechas con altas necesidades de agua. Entre los cultivos más intensivos en agua del mundo están el algodón (7000–29 000 litros por kilo); arroz (3000–5000 litros por kg); caña de azúcar (1500–3000 litros por kg), soja (2000 litros por kg) y trigo (900 litros por kg).[49] Debido a la gran cantidad cultivada, el arroz representa el 21 por ciento del agua total utilizada por los cultivos, mientras que el trigo representa el 12 por ciento.[50]

Cuadro 8.1: Agua azul, verde y gris

El término «agua azul» se refiere al agua de los ríos, lagos y embalses subterráneos que se usan comúnmente para el riego de cultivos mediante la construcción de infraestructuras como presas, canales de riego y pozos. «Agua verde» es el agua que cae como la lluvia, entra en la zona de raíces del suelo y regresa a la atmósfera como vapor a partir de evaporación o transpiración de las plantas. Después del riego con agua azul, la porción consumida utilizada por un cultivo retorna a la atmósfera como la porción de agua verde del ciclo hidrológico. El agua verde es libre, ya que no requiere construir una gran infraestructura para suministrarse, si bien su disponibilidad varía dentro y entre años. El agua azul, por naturaleza, tiene más capacidad de almacenamiento y, por tanto, menos fluctuación a corto plazo, especialmente en el caso de lagos y aguas subterráneas, pero su uso excesivo puede agotar el recurso a largo plazo. El «agua gris» o aguas residuales domésticas puede reciclarse y utilizarse debidamente con un tratamiento adecuado. Estos usos incluyen el agua para las funciones domésticas y el riego de cultivos, tanto alimenticios como no alimenticios, que pueden aprovechar los nutrientes contenidos en el agua gris, como el fósforo y el nitrógeno.

La producción ganadera es aún menos eficiente en el uso del agua, sobre todo si se alimenta a los animales con grano y se crían en espacios confinados. La producción de carne de vacuno utiliza la mayor cantidad de agua. De acuerdo con mediciones en los Estados Unidos, la carne de vacuno requiere 11 veces la cantidad promedio de agua utilizada en otras formas de producción ganadera.[51] También se crea una huella hídrica considerable al drenar los humedales para la agricultura, incluido el uso intensivo de turberas para el pastoreo del ganado (por ejemplo, en los Países Bajos y la meseta tibetana) y para el aceite de palma y la celulosa. Además de la pérdida de agua, el drenaje a menudo causa degradación de la tierra y, en última instancia, pérdida de la capa de turba (a causa de la oxidación), lo que afecta a la productividad biológica.[52]

La evaluación del grado de utilización de agua se complica aún más porque el uso del agua en un país puede fomentar estilos de vida en otro cuando se exportan productos agrícolas. El concepto de *huella hídrica* identifica el grado de utilización de agua por país en relación con el consumo de su población. La huella hídrica interna de un país es el volumen de agua doméstica utilizada, mientras que la huella hídrica externa es el volumen de agua utilizada en otros países para producir bienes y servicios importados y consumidos por dicho país. La suma representa la huella hídrica nacional total. Existen cuatro factores principales que influyen en la huella hídrica nacional: volumen de consumo (relacionado con el ingreso nacional bruto); patrones de consumo (por ejemplo, consumo de carne alto o bajo); clima (condiciones de crecimiento de las plantas); y prácticas agrícolas (eficiencia en el uso del agua).[53] Las ineficiencias en la agricultura son probablemente el factor más importante que afecta a la seguridad hídrica y, por tanto, se deben considerar una alta prioridad para la reforma de las políticas y prácticas.

2. Mala calidad del agua

La cuestión de la calidad del agua es igualmente compleja, tanto en términos del acceso al agua potable como de las repercusiones más amplias de la contaminación en el medio ambiente. Casi 3000 millones de personas tienen problemas para acceder al agua potable. El Objetivo de Desarrollo del Milenio, de la ONU, *de reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable para 2015*[54], se alcanzó en 2010, cuando se midió según el acceso al agua potable.[55] Este objetivo fue apoyado por una vigorosa campaña de las Naciones Unidas y la creación del Acuerdo de Asociación Mundial de Operadores de Agua para construir plataformas regionales de cooperación y asociaciones de servicios públicos destinadas a suministrar agua potable a los más pobres.[56] Si bien el objetivo se alcanzó en general, lo que demuestra que es posible realizar mejoras importantes a escala mundial, no fue así en casi la mitad de los países de ingresos bajos o medianos de los que se dispone de datos. Ni siquiera existen datos claros sobre cuánta agua es segura de los lugares donde se introdujo agua corriente.[57] La falta de acceso al agua potable sigue siendo un grave peligro para la salud; en 2014, se estimó que 1,8 mil millones de personas todavía usaban suministros inseguros y que otros 1,1 mil millones usaban fuentes con un riesgo al menos moderado.[58,59] En África, más de 300 millones de personas carecen de acceso al agua potable,[60] incluido el 17 por ciento de los ciudadanos al sur del Sáhara.[61]

El agua potable insegura tiene un coste enorme en términos de enfermedades y muertes. La diarrea es causada principalmente por agua potable y preparados alimenticios para lactantes contaminados con desperdicios humanos o animales. Esto puede atribuirse a una serie de factores subyacentes: pozos poco profundos y contaminados; el carácter ilegal o ad hoc de los asentamientos nuevos, lo que dificulta la inversión del gobierno; gobiernos abrumados por la creciente población urbana; transferencia inadecuada de fondos del gobierno central a los gobiernos locales; así como la financiación escasa debido a la deuda.[62] En 2013, más de medio millón de niños menores de cinco años murieron de diarrea, lo que representa un descenso de más del 4 por ciento desde 2000[63] pero sigue constituyendo un número de víctimas mortales enorme que en gran parte es evitable.

El agua no solo está contaminada por desechos humanos y ganaderos, sino también y de manera creciente por fertilizantes y pesticidas de nitrato y fosfato, productos farmacéuticos, metales pesados

© Sudipto Das

Las lluvias son cada vez más aisladas debido al cambio climático que, a su vez, incrementa el riesgo de inundaciones y sequías que a menudo afectan a los mismos lugares en épocas diferentes.

y otros contaminantes industriales. Desde los años 60, el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos se ha multiplicado por nueve, y se prevé que siga aumentando en un 40–50 por ciento en el próximo medio siglo, mientras que el uso de fosfato se ha triplicado.[64] El aumento del uso de fertilizantes, la producción ganadera y la quema de combustibles fósiles lleva a niveles más altos de nitrógeno reactivo en el medio ambiente, lo que a su vez eleva los niveles de nitratos por encima de los umbrales seguros para la salud humana y de los ecosistemas,[65] incluso en el agua potable[66] y a través de la eutrofización de las aguas frescas y costeras.[67] Se estima que la escorrentía de nitrógeno y la lixiviación total en todo el mundo es de 32,6 millones de toneladas al año, cuya mayor parte procede de prácticas agrícolas deficientes.[68] El exceso de fosfato exacerba los efectos de la contaminación por nitratos.[69] Otras formas de escorrentía agrícola, como plaguicidas, herbicidas y fungicidas que entran en los ecosistemas de agua dulce y marina, tienen efectos nocivos sobre la biodiversidad,[70] los cuales a veces están presentes en concentraciones que la legislación actual de muchos países considera segura.[71] Por tanto, aunque ha habido mejoras en la calidad del agua potable en términos de contaminación grave, todavía queda mucho camino por recorrer, mientras que otros aspectos de la calidad, como la contaminación con productos químicos agrícolas, parecen estar empeorando.

3. Aumento del número de las manifestaciones climáticas extremas

Las lluvias son cada vez más aisladas debido al cambio climático que, a su vez, incrementa el riesgo de inundaciones y sequías que a menudo afectan a los mismos lugares en épocas diferentes.[72] Ya existe un incremento de las precipitaciones en las latitudes más altas del hemisferio norte, una disminución de las precipitaciones en partes de China, Australia y las islas del Pacífico, así como una mayor variabilidad en las regiones ecuatoriales[73] que afecta a la frecuencia y gravedad de las inundaciones y sequías.[74] En el 2000, el 30 por ciento de las tierras urbanas a nivel mundial estaban situadas en zonas de inundaciones de alto riesgo y probablemente llegarán al 40 por ciento en 2030.[75] También es probable que la intensidad y la frecuencia de los episodios de precipitaciones extremas aumenten la magnitud y la frecuencia de los desprendimientos.[76] Al igual que los efectos de la escasez y la mala calidad del agua, las inundaciones afectan de forma desproporcionada a los más pobres y vulnerables en muchas sociedades.[77]

Las ráfagas irregulares de altas precipitaciones crean mayores peligros para las comunidades que viven cerca de ríos y humedales. Desde 1900, el 90 por ciento de los desastres causados por peligros naturales han estado relacionados con el agua.[78] De 1995 a 2005, las inundaciones representaron el 47 por ciento de los desastres relacionados con el clima, a saber, hubo más de 3000 desastres causados por inundaciones que afectaron

© Oxfam África Oriental

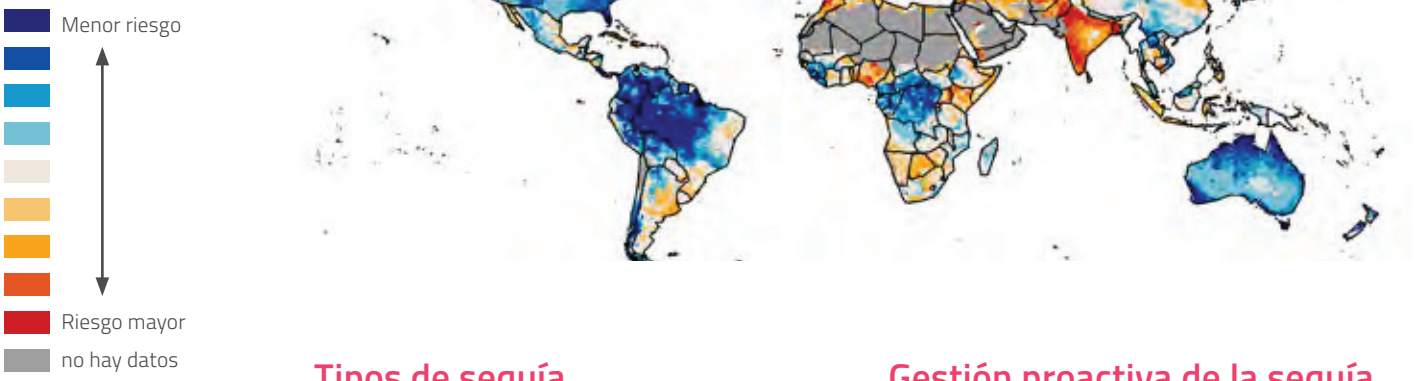
Si se gestiona de manera inadecuada, la sequía se convierte en una catástrofe humanitaria que amenaza la seguridad a todos los niveles.

a 2300 millones de personas y mataron a otras 157 000 personas; los efectos fueron mucho mayores en Asia.[79] Los desastres relacionados con el agua son los más frecuentes de todos los denominados desastres naturales.[80] Las inundaciones también implican costes económicos elevados: por ejemplo, las inundaciones del Danubio de 2006 en Europa han costado más de 630 millones de dólares en daños a infraestructuras y cultivos.[81]

La falta de precipitaciones es otro problema grave. Más de 50 millones de personas en todo el mundo se vieron afectadas por sequías en 2015.[82] Es probable que la frecuencia y la intensidad de las sequías aumenten debido al cambio climático, al igual que sus efectos a medida que continuamos utilizando más agua. La sequía puede causar enormes daños al medio ambiente, la economía y la estabilidad social. Desde 1950 al 2000, hubo 296 episodios de sequía a gran escala (es decir, en más de 500 000 km^2 y durante más de 3 meses) registrados en todo el mundo,[83] y la frecuencia, intensidad, longitud y extensión de las sequías aumenta constantemente,[84] especialmente en los trópicos y subtrópicos. Por ejemplo, en Somalia las sequías fueron las causas principales de alrededor de 258 000 muertes humanas entre 2011 y 2013.[85] Entre 1900 y 2013, se registraron pérdidas económicas a nivel mundial por un total de 135 000 millones de dólares a causa de los desastres causados por la sequía.[86] Cuando se gestiona mal, la sequía se convierte en una catástrofe humanitaria que amenaza la seguridad a todos los niveles. Las sequías suelen estar asociadas con la migración y los conflictos, sobre todo en las zonas donde ya existen tensiones políticas, instituciones débiles, problemas económicos y rivalidades entre grupos.

El cambio climático puede empeorar dichos problemas en el futuro.[87] El año 2015 fue el más seco desde que se creó el mantenimiento de registros hace más de un siglo y uno de los más calurosos, en el que se produjeron situaciones de sequía en gran parte del mundo, con más del 50 por ciento de las personas afectadas en África.[88] La sequía de 2015 se vio agravada por uno de los fenómenos más fuertes jamás registrados de El Niño.[89] En África, Oriente Medio y el Mediterráneo, la gravedad de los efectos de la sequía se ve exacerbada por las mayores demandas de agua.[90] Las sequías causan dificultades humanas y deterioro ambiental; cuando ocurren en comunidades y ecosistemas inadaptados, como ha ocurrido recientemente en ciertas partes de la Amazonía, también pueden dar lugar a grandes cambios a largo plazo en la ecología.[91] Las sequías relacionadas con el fenómeno de El Niño–Oscilación Austral (ENSO) están cada vez más vinculadas a los principales incendios que afectan a millones de hectáreas de turberas en el sudeste asiático, que causan problemas importantes de niebla tóxica. En 2015, Indonesia tuvo pérdidas económicas de más de 16 000 millones de dólares[92] y más de 106 000 muertes prematuras[93] a consecuencia de los incendios de turberas y niebla tóxica. La aparición de sequías inesperadamente graves en muchas partes del mundo, como la «sequía del milenio» de 2001–2009 en el sudeste de Australia,[94] obliga a replantearse las estrategias agrícolas y la viabilidad de algunas sociedades tradicionales muy antiguas. El cambio en las normas en materia de clima junto con el aumento en la frecuencia e intensidad de las condiciones climáticas extremas en conjunto tienen efectos importantes en el agua y en la seguridad alimentaria.

Figura 8.2: Mapa mundial del riesgo de sequía: Uso autorizado[96]



Tipos de sequía

Sequía meteorológica: la falta de precipitaciones/humedad, agravada por los vientos secos y las altas temperaturas, puede crear una crisis hídrica si se prolonga. Esta sequía puede comenzar y terminar súbitamente.

Sequía agrícola: los cambios en la humedad atmosférica pueden reducir la humedad del suelo, lo que afecta a cultivos y animales, así como a la evapotranspiración.

Sequía hidrológica: disminución de la cantidad y calidad de las aguas superficiales y subterráneas debido a la falta de precipitaciones y su uso excesivo para la agricultura y, a menudo, como consecuencia de la sequía meteorológica.

Sequía socioeconómica: el suministro de bienes y servicios como energía, alimentos y agua potable se ven reducidos o amenazados por cambios en las condiciones meteorológicas, hidrológicas y del suelo.[95]

Gestión proactiva de la sequía

Los pilares fundamentales para mejorar la preparación y la resiliencia a la sequía son:

Sistemas de vigilancia y alerta temprana de la sequía: Evaluar la adecuación de las estaciones meteorológicas, los recursos hídricos, las redes hidrológicas, la información de satélites, etc.; establecer un sistema integral de vigilancia y alerta temprana de la sequía que integre los parámetros del clima, agua y suelo, así como indicadores socioeconómicos a nivel nacional y subnacional; generar datos sobre precipitaciones en cuadrícula de alta resolución sobre el país y crear un mapa de las zonas de riesgo mediante sistemas de alerta temprana de sequía, calculando los índices estándar de sequía.

Riesgo de vulnerabilidad y evaluación de los impactos: identificar los procesos que contribuyen a la vulnerabilidad y la resiliencia de la comunidad; desarrollar el perfil de riesgo de las comunidades y regiones vulnerables antes del comienzo de las sequías; registrar los efectos de la sequía después de la incidencia de las sequías.

Medidas para la mitigación del riesgo de sequía: aumentar el suministro de agua a través de la recolección del agua de lluvia, la rehabilitación de tierras, la reposición de aguas subterráneas, fuentes potenciales nuevas, etc.; reducir la demanda mediante el uso eficiente del agua, como la revisión de la asignación de agua, la adopción/revisión de las tarifas del agua, el ajuste del marco legal e institucional, la fijación de precios del agua, el tratamiento del agua y el uso de aguas residuales/reciclaje, etc. Pero especialmente, aumentar la resiliencia a la sequía de la producción ganadera mediante el equilibrio del ganado en las zonas de regadío, la gestión de la capacidad de uso de pastizales y praderas, el uso de piensos y forrajes autóctonos, genotipos de mamíferos/bajo uso de agua, etc.

© Jacinto Lluch Valero

4. Perturbación de los caudales naturales

Los cambios hidrológicos acelerados en muchos de los principales sistemas fluviales del mundo, que principalmente se deben a la construcción de presas para obtener energía hidroeléctrica y al almacenamiento de aguas superficiales, causan tensiones adicionales en los ecosistemas de agua dulce y las comunidades circundantes. La construcción de presas proporciona grandes beneficios en términos de poder, si bien tienen importantes efectos secundarios en la sociedad y en el medio ambiente, que se hacen más evidentes con el tiempo[97] y provocan una creciente resistencia por parte de las comunidades locales y de las organizaciones de la sociedad civil.[98] A nivel mundial, al menos 3700 grandes presas, cada una con capacidad de al menos un megavatio, están planificadas o en construcción. En teoría, aumentarán la energía hidroeléctrica a escala mundial en un 73 por ciento, hasta alrededor de 1700 GW, pero reducirán los ríos de caudal libre en más de una quinta parte.[99]

La gestión de las presas puede dar lugar a condiciones extremas de sequía aguas abajo. Por ejemplo, en la cuenca alta del Níger se calcula que el efecto combinado de las desviaciones de agua por los planes de hidroelectricidad y riego podría reducir la captura de pescado en el delta en un 31 por ciento y los pastos en un 28 por ciento, lo que tendría consecuencias desastrosas para las comunidades que dependen de estos recursos. A menos que existan desbordamientos de presas por inundaciones lo bastante grandes y correctamente previstas, estas medidas crearían condiciones similares a las de la última gran sequía de 1984, cuando tres cuartas partes del delta se secaron y las personas huyeron *en masa*.[100]

El bloqueo del caudal libre de los ríos tiene una serie de efectos perjudiciales, dada la pérdida de conectividad longitudinal y lateral de los ecosistemas de agua dulce. Las presas afectan negativamente a los peces y otras especies acuáticas, la sedimentación aguas abajo y a la disponibilidad de agua, los medios de subsistencia y el transporte. El almacenamiento de agua en los embalses también puede alterar las temperaturas del agua corriente abajo.[101] La construcción de presas causa pérdidas directas de ecosistemas y promueve asentamientos que a su vez provocan más conversiones de tierras y pérdidas de ecosistemas.[102] La deforestación, asociada o no a la construcción de presas, genera una retroalimentación negativa, incrementa la sedimentación y cambia la hidrología, lo que reduce la producción y vida útil del sistema de energía hidroeléctrica.[103] Las presas también están asociadas con emisiones elevadas de metano que contribuyen significativamente al cambio climático.[104] La reducción de las inundaciones en los terrenos inundables aguas abajo también puede reducir la recarga de las aguas subterráneas y contribuir a la disminución de las precipitaciones regionales. Pero el atractivo de estas fuentes de energía implica que a menudo se presta poca atención a las compensaciones más amplias.

Cuadro 8.2: Cambios de la hidrología de la Amazonia[105]

Un aumento masivo en la construcción de presas para energía hidroeléctrica está cambiando el flujo y la integridad de los ríos de toda la Amazonía:[106] impacto en la ecología, los bagres migratorios y los delfines de río; bloqueo de pulsos críticos de agua anuales; captura de larvas y alevines de peces;[107] interrupción del transporte fluvial y el suministro de alimentos; y reducción de la sedimentación aguas abajo y costera.[108] Ya existen 154 grandes presas en funcionamiento, principalmente en Brasil, que generan 18.000 MW,[109] junto con decenas de miles de pequeñas represas para recolectar agua para el ganado.[110] Se estima que 277 presas más grandes están en las etapas iniciales de planificación,[111] incluso en áreas protegidas y tierras indígenas,[112] con una potencia instalada de alrededor de 95.000 MW.[113] Si todas ellas siguen adelante, sólo quedarán tres afluentes que fluyan libremente en la cuenca del Amazonas,[114] lo que afectará permanentemente a la ecología, la economía y el clima.[115] Un estudio concluyó que debido a las proyecciones de pérdidas forestales, el rendimiento máximo de la energía hidroeléctrica producida podría reducirse hasta un 75% en 2050.[116] Es necesaria la planificación de la cuenca y la incorporación de criterios sociales y ambientales en la toma de decisiones para garantizar que la producción de energía no menoscabe otros servicios de los ecosistemas.[117]

5. Degradación de la tierra

Aunque la escasez de agua es un problema mundial, la conversión de bosques y pastizales naturales en tierras agrícolas ha aumentado el agua en los suelos a escala local.

Los sistemas de riego con gestión deficiente dañan directamente la tierra, lo cual a su vez reduce el rendimiento, eleva las capas freáticas y aumenta la salinidad y la alcalinidad (por ejemplo, suelos sódicos). Aunque la escasez de agua es un problema mundial, la conversión de bosques y pastizales naturales en tierras agrícolas ha aumentado el agua en los suelos a escala local. Incluso si no se riegan los cultivos, la conversión de la vegetación natural puede afectar a la disponibilidad y calidad del agua. En los últimos 300 años, las tierras de cultivo de secano han aumentado en un 460 por ciento y los pastizales en un 560 por ciento, lo que ha causado la disminución de la evapotranspiración y el aumento de la recarga (dos órdenes de magnitud) y los caudales (un orden de magnitud).[118]

Al mismo tiempo, el aumento de la cantidad de agua en los sistemas agrícolas ha degradado aún más la calidad del agua a causa de la movilización de sales y el aumento de la salinización, debido a la poca profundidad de las capas freáticas y la lixiviación de los fertilizantes en acuíferos y aguas superficiales.[119] El riego con agua subterránea mineralizada también aumenta la salinidad del suelo y disminuye la productividad de los cultivos. Ya en 1993, el Banco Mundial estimó que el 20 por ciento de la superficie de tierras de regadío sufría una reducción en el rendimiento de los cultivos debido a la salinidad,[120] y se estima que hasta la mitad de las tierras de regadío se ven afectadas por niveles anormales de sal.[121] Por ejemplo, en la actualidad, la salinidad afecta al 70–80 por ciento de la cuenca Murray–Darling, la mitad de la cuenca del mar de Aral, un tercio del Delta del Nilo,[122] el 28 por ciento de los Estados Unidos y una cuarta parte de Pakistán y Uzbekistán.[123]

El drenaje de las turberas está vinculado a diversas formas de degradación de la tierra.[124] En algunas regiones de Asia Central y China ha conducido a la desertificación de antiguos paisajes donde predominan las turberas, la erosión importante del suelo por sobrepastoreo y la subsiguiente pérdida de productividad. El drenaje de turberas genera de forma inevitable la compactación del suelo y la oxidación del carbono de la turba, lo que ocasiona un hundimiento del suelo que presenta riesgos significativos en las regiones de tierras bajas. Dado que la base de la capa de turba a menudo se encuentra en o por debajo del nivel del mar o río, con el tiempo, el hundimiento del suelo incrementa el riesgo de inundación. En numerosos países, esto se ha mitigado mediante la construcción de diques y sistemas de bombeo; sin embargo, dada la inevitable continuación del hundimiento de los suelos drenados de turba, paisajes enteros pueden llegar a situarse por debajo del nivel del mar. Por ejemplo, la mitad de los Países Bajos se encuentra por debajo del nivel del mar debido a siglos de drenaje de turberas, lo que ha ocasionado riesgos significativos en términos de seguridad del agua e intrusión de agua salada, así como costes elevados en el mantenimiento de infraestructuras (previstos en 25 000 millones de euros entre 2010 y 2050 para las 200 000 hectáreas de turberas restantes en Holanda).[125] Mientras que los Países Bajos hace mucho tiempo que llegaron a un punto de no retorno, en el sudeste asiático el drenaje de las turberas de tierras bajas apenas comenzó en los años setenta. En los trópicos, el drenaje de turberas da lugar a emisiones de $CO_2$126, que causan hundimientos de 3 a 6 cm al año.[127] Sin embargo, los altos niveles y el patrón estacional de precipitaciones pueden excluir opciones de mitigación mediante sistemas de bombeo y diques. El drenaje continuo puede llevar a consecuencias devastadoras, que incluyen riesgos de inundaciones masivas y pérdida de tierras productivas.[128]

La degradación de la tierra afecta directamente a la seguridad del agua al reducir la calidad general del agua: desde los altos niveles de sal en las aguas subterráneas hasta el aumento de la circulación de sólidos en suspensión y productos agroquímicos, tanto en aguas superficiales como subterráneas. La pérdida de vegetación y la subsiguiente erosión del suelo alrededor de los embalses pueden conducir a la sedimentación inmediata y al acortamiento radical de la vida útil de los embalses y las centrales hidroeléctricas.[129] La erosión puede llevar a la degradación radical de paisajes de barrancos y depósitos de arena arrastrados por el viento. Asimismo, puede reducir la productividad agrícola de maneras más sutiles. El suelo desprotegido, degradado y erosionado tiene menos capacidad de retención de agua, ya sea para almacenar agua durante todo el año o para absorber excesos repentinos y minimizar las inundaciones después de lluvias intensas.[130]

© Javier Pedro Fernandez Ferreras

6. Efectos del cambio climático

La gestión de los humedales tiene un efecto significativo en el clima. En general, los humedales tienden a ser sumideros de carbono y nitrógeno, pero pueden ser fuentes de otros gases de efecto invernadero como el metano;[131] el equilibrio determina si un humedal es una fuente neta o un sumidero de gases de efecto invernadero.[132] Si bien se debe tener cuidado al estimar la medida en que los humedales contribuyen a la mitigación del cambio climático mediante la retención de estos gases,[133] resulta evidente que su capacidad para almacenar carbono proporciona una reserva de carbono sustancial a escala mundial. Los humedales costeros desempeñan un papel especialmente importante en la absorción del dióxido de carbono y la retención en los sedimentos, construyendo así grandes reservas de carbono. A escala mundial, los humedales contienen una cantidad desproporcionada de carbono total contenido en el suelo de la Tierra, alrededor del 30 por ciento del total, a pesar de ocupar solo el 5–8 por ciento de su superficie de tierras.[134] Por el contrario, el drenaje o la quema de turbas aumenta las emisiones de carbono y humo,[135] al igual que el drenaje o la alteración de otros tipos de humedales. La destrucción de los humedales en última instancia conduce a la liberación de carbono,[136] y la mala gestión de los humedales también puede dar lugar a grandes pérdidas de carbono[137] aunque subsisten incertidumbres sobre las cantidades totales de las reservas de carbono contenidas en los humedales.[138]

Si bien las turberas sólo cubren alrededor del 3 por ciento de la superficie terrestre, contienen la mayor reserva de carbono del planeta, la cual se cree que es equivalente a la contenida en todos los demás biomas terrestres,[139] especialmente en la tundra boreal. Las turberas intactas contienen hasta 1,300 toneladas de carbono por hectárea[140], y se estima que en las turberas de todo el mundo se encuentran almacenadas 550 Gt de carbono.[141] Los «puntos calientes» de turba incluyen bosques tropicales del sudeste asiático y tundra de Rusia, Canadá, Alaska y Escandinavia. El drenaje para el establecimiento de las plantaciones, como la palma, produce un fuerte incremento de emisiones.[142] Se estima que ya se están perdiendo 0,5–0,8 Gt de carbono anuales como resultado de la conversión de turberas, principalmente en los trópicos.[143] Por ejemplo, en los primeros años del siglo XX las emisiones de turba drenada en el sudeste asiático fueron de 355–874 Mt anuales, con un aumento de 1.400 Mt en las emisiones anuales entre 1997 y 2006 debido a los incendios de turberas, ocurridos principalmente en Indonesia.[144] Si bien las pérdidas de carbono de la tundra boreal son actualmente mucho más bajas, tienen el potencial de superar a las de los trópicos a

medida que el calentamiento derrite el hielo y seca la turba. Algunos sitios de Alaska ya han pasado de ser sumideros de carbono a ser fuentes de carbono,[145] y existen temores de que se produzca alguna liberación repentina de carbono del Ártico.[146]

La experiencia de Canadá ha demostrado que las pérdidas de CO_2 procedentes de zonas de turbas cortadas podrían verse frenadas a través de la restauración y la revegetación.[147] Después de las talas industriales ocurridas en Irlanda, se ha conseguido recuperar turberas con éxito,[148] y se comunican resultados positivos similares en el sudeste de Asia, Rusia, Argentina y el Himalaya.[149] Los esfuerzos para restaurar los humedales costeros (p. ej., marismas, manglares, lechos de pastos marinos) están aumentando como forma de recuperar su capacidad natural de retener carbono. Por ejemplo, la restauración a gran escala de manglares está actualmente en curso en países como Kenia, Tanzania, Sri Lanka e India.[150]

La pérdida de humedales es más rápida que la de otros ecosistemas, junto con una pérdida desproporcionada de servicios de los ecosistemas.

7. Pérdida de la biodiversidad y servicios ecosistémicos relacionados con el agua

A pesar de los esfuerzos por conservar y utilizar sabiamente los humedales,[151] desde 1900 se han perdido entre un 64 y un 71 por ciento de ellos,[152] y muchos otros se han degradado por la contaminación, las interrupciones del flujo, la sobre–cosecha, y las especies invasoras.[153] La pérdida de humedales sigue a un ritmo mayor que la de otros ecosistemas, junto con una pérdida desproporcionada en los servicios de los ecosistemas.[154] Entre 1970 y 2008, la extensión de los humedales naturales disminuyó de promedio alrededor del 30% a nivel global.[155]

Estas pérdidas tienen efectos posteriores sobre la biodiversidad de agua dulce, así como sobre la salud y la productividad de las tierras circundantes y sus comunidades. Los cuerpos abiertos de agua dulce ocupan menos del 1% de la superficie de la Tierra, pero contienen alrededor del 12% de todas las especies conocidas, incluyendo un tercio de todas las especies de vertebrados.[157] La biodiversidad de agua dulce está disminuyendo[158], y una de cada tres especies de peces de agua dulce[159] y el 30% de los anfibios[160] están amenazados de extinción. Por ejemplo, el bagre constituye el 39 por ciento de las especies de peces amazónicas conocidas, que dependen de la integridad de las áreas críticas de desove en la cuenca alta,[161], pero su supervivencia está amenazada por las propuestas de construir presas en los grandes ríos[162] y la sobreexplotación.[163] Más allá de la supervivencia de las especies, las pesquerías son una fuente importante de alimentos e ingresos, con un consumo promedio de pescado per cápita de 94 kg anuales para las comunidades ribereñas.[164] Un análisis de 145 grandes cuencas hidrográficas demostró que aquellos con el mayor valor biológico eran generalmente los más degradados.[165] Otros grupos de agua dulce también están amenazados. Muchos moluscos están restringidos en rango y por lo tanto son vulnerables; de más de 1.200 especies de caracoles de vidrio de primavera (*Hydrobiidae*), 182 figuran como amenazados en la Lista Roja de la UICN.[166]

Cuando las aguas dulces y su biodiversidad se degradan o destruyen, sus servicios ecosistémicos también se pierden. Estos servicios suelen valer más para la sociedad que los usos productivos que los sustituyen[167], ya que los beneficios se distribuyen a menudo entre muchas personas, mientras que los beneficios de la conversión y la producción tienden a concentrarse en manos de unos pocos. Los servicios de los ecosistemas a menudo no se notan hasta que desaparecen, y su recuperación, si es posible, es casi siempre costosa en comparación con la protección del ecosistema existente. La Tabla 8.1 resume algunos de los servicios ecosistémicos clave relacionados con el agua.

Cuadro 8.3: La Convención de Ramsar

La Convención de Ramsar sobre los Humedales, firmada en Ramsar, Irán en 1971, es un acuerdo internacional dirigido a la «*Conservación y uso racional de los humedales y sus recursos.*» Los firmantes del Convenio están obligados a designar al menos un humedal adecuado (normalmente se incluyen más en la lista) de su territorio como *Humedal de Importancia Internacional*. Si bien todos los sitios Ramsar están comprometidos con la gestión sostenible, algunos son también áreas protegidas oficiales, mientras que otros permanecen abiertos a usos múltiples. La Convención de Ramsar ofrece orientación técnica sobre la gestión y evaluación de los humedales, en estrecha colaboración con la UICN y con otras organizaciones internacionales para promover la ordenación sostenible de los humedales mundiales.

La Convención también promueve el uso racional de los humedales como elemento fundamental de su misión, y define el uso racional como «el mantenimiento de su carácter ecológico, logrado mediante la aplicación de enfoques basados en los ecosistemas, en el contexto del desarrollo sostenible». El uso racional es la conservación y el uso sostenible de los humedales y todos los servicios que prestan, en beneficio de las personas y la naturaleza. Los aspectos prácticos incluyen la adopción de políticas nacionales de humedales; garantizar el inventario de humedales, la supervisión, la investigación, la capacitación, la educación y la concienciación pública; y el desarrollo de planes integrados de gestión en las zonas de humedales.[156]

Tabla 8.1: Tipología de los servicios ecosistémicos de los humedales[168]

Servicios	Servicio del ecosistema	Ejemplo
Soporte	Producción primaria	Fotosíntesis en plantas acuáticas y vegetación de humedales.
	Ciclo de nutrientes	El mayor valor económico total de todos los servicios de los ecosistemas de humedales[169], aunque por lo general este valor no se realiza actualmente.
	Conservación de la biodiversidad	El Amazonas tiene unas 6.000–8.000 especies de peces,[170] y el Mekong 850 especies de peces.[171]
	Función de los viveros	Zonas de cría de especies acuáticas importantes para fines comerciales y de subsistencia.
	Formación del suelo	Los sedimentos del Mekong soportan más del 50 por ciento de la producción de alimentos básicos de Vietnam.[172]
	Productividad marina	Los sedimentos transportados por los ríos también mantienen los ecosistemas en las aguas profundas. Cada año, entre 500 y 1.000 millones de toneladas de lodo de los ríos Amazonas y Orinoco[173] crean enormes bancos de barro[174] que mantienen los manglares[175] y preservan una pesca altamente productiva.[176]
	Recarga de acuíferos	Los humedales estancados son un recurso clave para la recarga del acuífero, que suele ser la opción de menor coste para estabilizar y garantizar el suministro.[177]
Aprovision-amiento	Captura de peces y otras especies	La captura de peces africanos de agua dulce supera los 2,5 Mt anuales;[178] el delta del Níger produce 40–80.000 t/año.[179] El Mekong produce 2 Mt al año,[180] suministrando el 80% de la proteína animal de Camboya.[181] Sin embargo, las pesquerías están en peligro: 4 de cada 11 especies capturadas para comercializar ya se han extinguido en los Grandes Lagos de América del Norte .[182]
	Recolección de plantas	Muchas especies de agua dulce se recogen para alimentos y piensos.[183]
	Recolección de materiales	Papiro, cañas, juncos, etc. se utilizan para techados, herramientas, cercas, etc.
	Pastoreo de ganado	Los humedales son a menudo pastos muy productivos, que proporcionan pastoreo estacional para pastores y ganaderos.
	Producción agrícola	Los suelos ricos en turba apoyan la agricultura productiva.
	Fuentes de energía	La energía hidroeléctrica es una fuente crítica de energía. En Ruanda, el papiro se compacta en briquetas de combustible . La extracción de turba sigue siendo un combustible doméstico importante en zonas de Irlanda y Escocia.
	Materias primas	En los bosques ribereños se recogen leña y madera para construcción.
	Medicamentos	A menudo se utilizan especies de plantas de agua dulce como medicamentos.
Regulación	Inundación	Los humedales absorben las inundaciones, proporcionando una reducción del riesgo de desastres.[184]
	Protección contra tormentas	Los bosques ribereños y los humedales estacionales frenan las inundaciones y protegen a las comunidades río abajo.[185]
	Fijación de carbono	Los humedales, y particularmente las turberas, son la mayor reserva de carbono del planeta,[186] conteniendo hasta 1,300 toneladas de carbono por hectárea.[187]
	Estabilización climática	La evaporación de los lagos ayuda a reducir los extremos climáticos.
	Suministro de agua	Algunos tipos de bosques, incluyendo los bosques nubosos de montaña[188,189] y algunos antiguos bosques de eucaliptos,[190] aumentan el flujo neto de agua.
	Depuración de agua	Las cuencas boscosas y los humedales proporcionan agua más limpia, reduciendo la necesidad de tratarla.[191]
Culturales	Recreativos	Los humedales pueden ser una atracción turística: el delta del Okavango, en Botswana, atrae a 120.000 turistas al año.[192]
	Culturales y artísticos	Lagos y los ríos han inspirado a artistas, músicos y escritores.
	Espirituales	Muchos humedales tienen valores sagrados locales o son sitios importantes de peregrinación, como por ejemplo los lagos sagrados a gran altitud de la India.[193]
	Ciencia y educación	Las aguas dulces proporcionan importantes centros de investigación y educativos.

CAUSAS INDIRECTAS DE INSEGURIDAD DEL AGUA

La sección anterior abordaba algunas de las causas de la inseguridad del agua: riego mal gestionado y producción ganadera, demanda de la industria, energía y sectores urbanos, contaminación, construcción de presas, el cambio climático y el crecimiento demográfico. A continuación analizamos algunas de las causas indirectas:

1. Un enfoque fragmentado de la gestión del agua
2. Políticas y modelos de negocio que impulsan sistemas de gestión de alto consumo de agua
3. Patrones comerciales y de precios que actúan como incentivos perversos
4. Cambios demográficos y rápida urbanización
5. Cambio climático

1. Un enfoque fragmentado de la gestión del agua

El uso del agua en un solo sector, sin una política integrada del agua,[194] a menudo conduce a graves impactos negativos. Entre los ejemplos espectaculares encontramos el Mar de Aral en el Asia Central, que en el año 2016 se había reducido a una décima parte del tamaño que tenía en 1961; esto se debió a que la mayor parte del agua de los dos ríos tributarios fue desviada para riego.[195] El lago Chad, en África, ha disminuido más del 90 por ciento por área en los últimos cuarenta años debido a la sequía y el riego.[196] Por el contrario, los beneficios de los enfoques integrados o «nexos» de la gestión del agua se conocen desde hace un siglo, con algunos ejemplos prominentes que muestran el camino.[197]

Sin embargo, la cooperación a escalas relativamente grandes sigue siendo escasa. La planificación del agua (donde existe) tiende a seguir un enfoque fragmentado o aislado, con diferentes sectores (e incluso individuos diferentes dentro de un mismo sector) que compiten en lugar de colaborar a expensas del bien común.

2. Políticas y modelos de negocio que impulsan sistemas de gestión intensiva del agua

El énfasis en los monocultivos en la agricultura moderna tiende a aumentar el uso y los impactos en el agua (véase el Capítulo 7). Por ejemplo, en los últimos 50 años, el área dedicada a la soja ha crecido diez veces más, alcanzando 1 millón de kilómetros^2: la superficie de Francia, Alemania, Bélgica y los Países Bajos juntos.[199] El crecimiento se ha producido principalmente en América del Sur, donde la producción creció un 123 por ciento entre 1996 y 2004.[200] Las proyecciones sugieren un aumento adicional del 140 por ciento hasta los 515 millones de toneladas para 2050.[201] El cultivo de soja es principalmente agricultura de secano en América del Sur, aunque en los demás lugares es agricultura de regadío.[202] La conversión a gran escala al cultivo intensivo de soja probablemente seguirá reduciendo la disponibilidad de agua.[203] Como se ha documentado en los campos de soja de Argentina, la calidad del agua también se ve afectada por la erosión del suelo y los residuos agroquímicos como resultado del uso intensivo de plaguicidas. .[204] Sin embargo, la soja es un negocio multimillonario que vende productos de alto valor como la alimentación animal. Los sistemas alternativos de producción que utilizan los recursos hídricos de manera más eficiente no pueden competir económicamente con la soja, especialmente cuando el agua está tasada por debajo de su valor real.

Otros cultivos también ponen en tensión los sistemas hidrológicos. Los análisis realizados en Tailandia mostraron que la producción de arroz (con cáscara) era el que más agua utilizaba; seguido del maíz, la caña de azúcar y la yuca. La producción de una segunda cosecha de arroz pone algunas cuencas fluviales bajo una presión considerable.[205] El drenaje de las turberas para el pastoreo y los cultivos agrícolas reduce su capacidad de retención de agua, lo que lleva a una mayor escasez de agua en períodos secos y picos de inundación en períodos húmedos.[206]

Se ha propugnado el aumento de las importaciones de productos agrícolas como una solución para los países con escasez de agua. Esta estrategia podría proporcionar una solución sostenible si los cultivos se cultivan en países ricos en agua. Pero si agotan las escasas existencias de agua, desfavorecen a las comunidades pobres, degradan la tierra y aumentan el estrés hídrico, deben considerarse ambientalmente y socialmente insostenibles.

© Peter Hershey

Cuadro 8.4: Ordenación integrada de la tierra y los recursos hídricos en la llanura del norte de China

El riego intensivo en el norte de China había reducido drásticamente el caudal de la cuenca del río Hai y había menguado gravemente los acuíferos sometidos al riego por bombeo. El gobierno de China identificó la necesidad de una acción urgente encaminada a restaurar los recursos hídricos y reducir la sobreexplotación. El Área Focal para las Aguas Internacionales del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) apoyó un importante esfuerzo de restauración, destacando tres procesos clave en la gestión integrada del agua: (1) formación de comités interministeriales nacionales; (2) análisis del estado de la cuenca del río o del acuífero, los diferentes usos del agua en el sector, los conflictos y las proyecciones futuras; y (3) desarrollo de un programa estratégico de reformas e inversiones políticas, legales e institucionales mediante procesos participativos entre sectores para equilibrar usos competidores, negociar compromisos y formar asociaciones para la acción.[198]

El proyecto de siete años de la cuenca del río Hai de la DIRH fue pionero en la gestión del agua y la tierra para mejorar la calidad del agua en el río y los acuíferos y reducir el uso del agua para el riego. Introdujo mayores tarifas por el agua de riego; un nuevo sistema de derechos de agua/asignación bajo la ley china basado en estimaciones de evapotranspiración (ET) en lugar de importes estándar de retirada; el uso de tecnología satelital para hacer cumplir las asignaciones de agua; y otras tecnologías de riego con ahorro de agua con el objetivo de re–equilibrar la seguridad alimentaria e hídrica y los objetivos medioambientales en la cuenca. El proyecto incluyó mejoras en la calidad del agua, la creación de capacidad para la comisión de recursos hídricos de la cuenca y el uso de tarjetas ATM para agricultores individuales. Las asignaciones de bombeo se limitaron a garantizar el ahorro de agua: una vez que se agotaba la asignación de un individuo, éste no podía bombear más agua. Se utilizaron datos de satélites sobre la ET estimada (a una escala de 30 por 30 metros) con modelos de simulación para identificar asignaciones reducidas a asociaciones de usuarios de agua dirigidas por agricultores que distribuyeron las cuotas a más de 100 000 hogares de agricultores. Los servicios de extensión también ayudaron a recomendar prácticas para el ahorro de agua verde en las fincas, buenas prácticas de gestión (p. ej., cobertura del suelo, patrones de cultivo, tecnología de goteo) y la siembra de cultivos alternativos para aumentar los ingresos de los agricultores. Después de siete años, el ingreso per cápita aumentó en un 193 por ciento, la eficiencia hídrica aumentó en un 82 por ciento y el uso consuntivo disminuyó un 27 por ciento. Estos ahorros de agua ayudaron a estabilizar la extracción de acuíferos y pusieron más agua a disposición para el funcionamiento del ecosistema.

El éxito de este proyecto alentó al gobierno chino a introducir el sistema de detección remota/derechos hídricos/sistemas de distribución de agua para todas las nuevas asignaciones de agua. Esto llevó a la aplicación del sistema de asignación basado en ET a toda la cuenca del lago Tarim y un proyecto financiado posteriormente entre FMAM/el Banco Mundial/y China para todo el sistema de la cuenca del río Hai. Otros logros del proyecto incluyeron acuerdos formales entre los ministerios que nunca habían trabajado conjuntamente y un sistema de gestión del conocimiento establecido para la comisión de la cuenca revitalizada. Por último, la fijación de objetivos de proyectos coherentes con la política del FMAM resultó importante para medir y evaluar el progreso en el tiempo.

3. Patrones de negociación y precios que actúan como incentivos perjudiciales

El acaparamiento de tierras también es acaparamiento de agua cuando, como es cada vez más frecuente, las adquisiciones de tierras a gran escala por inversionistas extranjeros incluyen garantía de agua.

En el capítulo 5 se analiza el acaparamiento de tierras o las adquisiciones de tierras a gran escala para las exportaciones agrícolas, pero una cuestión importante relacionada es el valor de exportación de los productos agrícolas en forma de «agua virtual» (el flujo oculto de agua que produce alimentos que se exportan) . El acaparamiento de tierras también es acaparamiento de agua[207] cuando, como es cada vez más frecuente, las adquisiciones de tierras a gran escala por inversionistas extranjeros viene con garantías de agua.

El comercio virtual del agua está creciendo, y este equilibrio comercial entre los países está cambiando con el tiempo. China, hasta hace poco un exportador neto de agua virtual relacionada con el comercio de productos animales y vegetales no comestibles utilizados para la fabricación, es ahora el mayor importador virtual de agua del mundo para esos mismos productos.[208] Esto puede conducir al desplazamiento de los pequeños agricultores, acelerar la degradación de las tierras y el abuso de los recursos hídricos, junto con la creación de conflictos aguas abajo o acuíferos, particularmente cuando las instituciones débiles no pueden o no quieren regular el uso del agua. El control corporativo del agua es un tema cada vez más divisorio y politizante.[209] Las políticas de fijación de precios, como las que aplican las principales empresas minoristas de alimentos para reducir los precios de los alimentos a los consumidores, reducen los beneficios de los agricultores y fomentan el uso insostenible, como el riego intensivo.

4. Cambio demográfico y urbanización

Se reconoce que las poblaciones en crecimiento suelen poner los recursos hídricos bajo estrés.[210] Pero tan importante como los números totales es la cuestión de los movimientos demográficos, ya sean graduales a través de la urbanización y la migración económica, o por cambios rápidos en la población como resultado de desastres, guerras o conflictos internos. La urbanización es actualmente un fenómeno mundial. Casi la mitad de los habitantes de las ciudades del mundo viven en asentamientos relativamente pequeños de menos de 500.000 habitantes, mientras que alrededor de uno de cada ocho viven en las 28 mega–ciudades con más de 10 millones de habitantes. Hasta hace poco la mayoría de las mayores ciudades del mundo se encontraban en el norte, pero hoy en día se concentran cada vez más en el sur. Los centros urbanos de más rápido crecimiento son ciudades de tamaño mediano y ciudades con menos de un millón de habitantes ubicadas en Asia y África.[211]

África es un ejemplo notable de la urbanización y su impacto en el agua. En 1960, sólo había 11 ciudades en África con más de medio millón de habitantes y sólo cinco en el África subsahariana, que era abrumadoramente rural. En 2015, había 84 de esas ciudades en el sur del Sahara, incluyendo megaciudades como Lagos, con más de 13 millones de habitantes. Para el año 2030 probablemente habrá más de 140.[212] Las estimaciones actuales indican que los nuevos residentes urbanos en África aumentarán en más de 300 millones en el período comprendido entre los años 2000 y 2030: más del doble del crecimiento de la población rural.[213] Los humedales y las cuencas proporcionan servicios de abastecimiento (por ejemplo, alimentos, agua, materias primas) y servicios de regulación (por ejemplo, control de inundaciones, estabilización climática) a las poblaciones urbanas. Pero en toda África, la urbanización está invadiendo ambos tipos de servicios, ya sea directamente a través de la expansión urbana que drena los humedales para la vivienda o porque la densidad de población aumenta la presión sobre los recursos naturales; libera más contaminantes, introduce especies invasivas y requiere más agua para la agricultura y el uso doméstico.

Cuadro 8.5: El agua y las ciudades africanas

La rápida expansión urbana y periurbana en muchas ciudades africanas está ejerciendo presión sobre los recursos hídricos circundantes, en el preciso momento en que sus servicios ecosistémicos son más necesarios que nunca. Por ejemplo, la rápida expansión urbana y la floreciente industria hortícola están amenazando el humedal de la bahía de Lutembe en Kampala, Uganda. La bahía de Lutembe, que es un sitio Ramsar, está casi completamente aislada del resto del lago Victoria por una isla de papiro. Los pantanos filtran el limo, los sedimentos y el exceso de nutrientes de la escorrentía superficial, las aguas residuales y los desechos industriales. Pero el humedal se está perdiendo rápidamente para la agricultura y la horticultura; una empresa hortícola llenó ilegalmente algunos en 2013.[214] De manera similar, los humedales de Harare son la fuente de agua para la mitad de la población del país, recargan la capa freática, filtran y purifican el agua (reduciendo así los costes de depuración), evitan la sedimentación y las inundaciones y proporcionan una valiosa reserva de carbono. Los humedales son también un importante santuario de aves y, asimismo, un sitio Ramsar. Sin embargo, la hidrología está siendo dañada como resultado del cambio en el uso de la tierra, la agricultura informal, la contaminación por fertilizantes y el uso extensivo de perforaciones comerciales, lo que se ha traducido en una reducción promedio del nivel freático de entre 15 y 30 metros en los últimos 15 años . El fomento de la capacidad y la sensibilización de los planificadores urbanos y del personal gubernamental sobre la importancia de la protección de los humedales es una prioridad importante.[215]

5. Cambio climático

El rápido cambio climático está exacerbando casi todos los aspectos de la inseguridad hídrica descritos anteriormente. El cambio climático tendrá múltiples impactos en el suministro de agua, incluyendo el derretimiento de los glaciares y las capas de hielo, los cambios en las nevadas y las lluvias, los patrones climáticos cada vez más fluctuantes y los mayores extremos climáticos. Es probable que aumente la escasez general de agua.[216] El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático concluyó (con evidencia sólida y un alto acuerdo) que es probable que el cambio climático reduzca los recursos de agua superficiales y subterráneos renovables en la mayoría de las regiones subtropicales secas. Por el contrario, en las latitudes más altas es probable que la disponibilidad de agua aumente. La composición, estructura y función de muchos humedales también cambiará, y muchas especies de agua dulce se enfrentarán a mayores riesgos de extinción.[217]

UN ENFOQUE INTEGRADO PARA LA SEGURIDAD GLOBAL DEL AGUA

Se necesitan urgentemente nuevos enfoques para la gestión de los recursos hídricos.[218] El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 sobre agua y saneamiento incluye un énfasis en la mejora de la calidad del agua (objetivo 6.3) y en la protección y recuperación de los ecosistemas relacionados con el agua (objetivo 6.6). La mejora de la gestión del agua es también un componente crítico del ODS 2, sobre la seguridad alimentaria, y del ODS 15 para combatir la desertificación, detener e invertir la degradación de la tierra y detener la pérdida de biodiversidad. Este enfoque de nexo se centra en la eficiencia del sistema, en lugar de hacerlo en la productividad de los sectores aislados, al reducir las compensaciones y generar beneficios adicionales que superan los costes de transacción asociados con una mayor integración entre sectores. Estas mejoras acelerarían el progreso hacia el desarrollo sostenible y alentarían a los gobiernos, el sector privado y la sociedad civil a mejorar la seguridad del agua.[219]

Maximizar la seguridad del agua no es ni una simple solución técnica ni la responsabilidad de un solo sector.

Maximizar la seguridad del agua no es ni una simple solución técnica ni la responsabilidad de un solo sector. Requiere una serie de respuestas relacionadas con la provisión y calidad del agua para usos humanos; la gestión de los recursos de la tierra, en particular los suelos; la protección y, en caso necesario, la recuperación de humedales y cuencas hidrográficas; y la regulación de los flujos de agua y la disponibilidad a largo plazo.[220] Los elementos clave de un enfoque integrado para la gestión del agua son:

- **Gestión de los recursos hídricos mediante una gestión sostenible de la tierra, especialmente en la agricultura**
- **Protección y restauración de los ecosistemas naturales para los bienes y servicios relacionados con el agua**
- **Trabajar hacia ciudades sostenibles**
- **Reforma política a nivel local, nacional e internacional**

Los ecosistemas relacionados con el agua no pueden ser gestionados aisladamente, ya que las cuencas hidrográficas o los parteaguas se conectan en vastas áreas y el ciclo global del agua funciona en última instancia como un sistema único. La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)[221] promueve el desarrollo y la gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados con el fin de maximizar el bienestar económico y social de una manera equitativa sin comprometer el funcionamiento y la sostenibilidad de nuestros paisajes de trabajo.

Gestión de los recursos hídricos a través de la gestión sostenible de la tierra

El riego conlleva altos costes de agua, pero también altos beneficios de la producción agrícola. En los Estados Unidos, el 7,5 por ciento de los cultivos y tierras de pastoreo son de regadío, produciendo el 40 por ciento del valor agrícola y representando el 80–90% del consumo de agua.[222] La maximización de la eficiencia de las tecnologías de riego y su aplicación es claramente una prioridad que se centra en todos los aspectos del riego, desde el abastecimiento y la distribución hasta la aplicación sobre el terreno. Incluso pequeños incrementos en la productividad de los cultivos y el agua en áreas de precipitación limitada tendrían implicaciones importantes tanto para la productividad general de alimentos como para la disponibilidad de agua.[223] Además, existen varias prácticas de gestión de tierras, probadas y rentables, que reducen los desechos y conservan el agua en la agricultura, al tiempo que brindan beneficios adicionales al medio ambiente y a la productividad a largo plazo (ver Cuadro 8.2). El hecho de que estas prácticas no se utilicen más ampliamente se debe a factores como la falta de capacidad o de inversión y subsidios, regulaciones y otros incentivos perversos que desalientan el uso eficiente. En algunos países, las costumbres culturales y religiosas también juegan un papel, por ejemplo, la renuencia a usar aguas grises.

La GIRH ha sido una aspiración durante décadas, pero a menudo ha fracasado en la práctica debido a intereses sectoriales arraigados, barreras políticas y el fracaso para generar un sentido de responsabilidad colectiva. Tradicionalmente, los gestores del agua se han centrado en la gestión del agua de forma aislada, mientras que una buena gestión del agua depende en gran medida de la gestión sostenible de la tierra.[243] El concepto más amplio de gestión integrada de la tierra y los recursos hídricos sigue ganando terreno, tal como se refleja en un número creciente de aplicaciones en todo el mundo.

Uno de varios ejemplos de China, el proyecto de siete años de GIRH de la cuenca del río Hai, fue pionero en las reformas de la gestión del agua y la tierra para mejorar la calidad del agua en el río y los acuíferos y reducir el uso del agua para el riego.[245] El proyecto demuestra algunos de los elementos esenciales de un programa nacional de conservación de agua, incluyendo una organización central con leyes de aguas completas; planificación del uso de la tierra y el agua a nivel regional y de cuencas hidrográficas; marcos de toma de decisiones basados en la oferta y demanda de agua a largo plazo; servicios adecuados de investigación, demostración y extensión; un sistema de gestión de la demanda; control de calidad de equipos; promoción de asociaciones de usuarios de agua; y, donde sea necesario, la reforma agraria y el crédito agrícola para el riego.

Tabla 8.2: Algunos ejemplos de enfoques de ahorro de agua en la agricultura

Técnica	Detalles
Aumento de la disponibilidad/eficiencia del agua	
Infraestructura mejorada	Los canales de riego y las zanjas mal construidas tienen fugas de agua, causando acumulación de agua y pérdida de productividad. Las tuberías son más eficientes, pero también más caras.
Sistemas de riego mejorados	Las redes de canales de tierra son las menos eficientes, seguidas de canales forrados, tuberías de presión, riego por mangueras, sistemas de aspersión, aspersores de microchorro y riego por goteo: eficiencias que oscilan entre el 40% y el 80-90%.[224]
La agricultura de conservación	Combina la labranza mínima con cultivos de cobertura y rotaciones para reducir la evaporación, la escorrentía y la erosión[225]
Agricultura biológica	Un sistema de producción que se basa en procesos ecológicos, biodiversidad y ciclos adaptados a las condiciones locales evitando el uso de fertilizantes sintéticos, plaguicidas, OGM, hormonas de crecimiento y antibióticos;[226,227] algunos sostienen que esto maximiza el reciclaje de nutrientes y aumenta la materia orgánica del suelo, mejorando así la capacidad de retención de agua en el suelo[228]
Eco-agricultura	Hace hincapié en la restauración de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad, aumentando el apoyo a los servicios ecosistémicos relacionados con el agua
Agrosilvicultura	Mezcla de cultivos de árboles y vegetales para conservar el agua reduciendo la evaporación y la transpiración; en Kenia la evaporación del suelo se redujo en un promedio del 35%.[229]
Gestión participativa del riego	La cooperación entre los usuarios puede aumentar la eficiencia; en Nueva Zelanda los ahorros de costes del 65% se lograron a través del control local.[230]
Sistema de captación de agua de lluvia	Existen varias opciones, desde canales que conducen el agua a estanques abiertos hasta caballones cubiertos de película y almacenamiento subterráneo.[231]
Arado de contornos, cubetas de retención y terraplenes	Tradicionalmente se utilizan para reducir la erosión del suelo y aumentar la eficiencia de la retención de agua.[232]
Acolchado	Reduce la pérdida de agua y mejora los rendimientos; su viabilidad queda a menudo limitada por la falta de material de acolchado (p. ej., debido a la quema o el pastoreo de rastrojos después de la cosecha).[233]
Variedades de siembra temprana y alta eficiencia en el uso del agua	Tres factores son importantes: reducir las pérdidas; aumentar la biomasa para una cantidad determinada de agua; y dividir más biomasa en el producto cosechado.[234] Por ejemplo, las variedades sembradas tempranamente pueden crecer en épocas más frías del año, cuando se evapora menos agua.
Bombas	Pueden elevar las aguas subterráneas y mantener la productividad durante todo el año en países con pronunciadas estaciones húmeda y seca. Las bombas de pedal son un sistema simple y barato.[235]
Reducción del uso del agua	A veces se puede reducir el riego en ciertos períodos sin reducir los rendimientos de los cultivos.[236]
Textos de previsión meteorológica	El uso de teléfonos móviles para compartir textos sobre las previsiones meteorológicas para los tiempos de siembra ha mejorado la eficiencia del agua en los países de la cuenca del Níger.[237]
Alertas de emisoras de radio sobre lluvia o sequía	En Senegal, 915 jefes de aldea y muchas emisoras de radio se han suscrito a un servicio que cubre hasta la mitad de la población del país.[238]
Uso de aguas grises y efluentes de aguas residuales	Las aguas residuales separadas de los efluentes industriales pueden utilizarse para el riego; las aguas residuales de 100 000 personas riegan alrededor de 1000 ha utilizando sistemas eficientes.[239]
Dispositivos de detección de humedad del suelo y de la planta. Simulación computacional del crecimiento de los cultivos	Su utilización ha reducido las pérdidas de agua en un 20% en Sudáfrica.[240] La tecnología, como la agricultura de precisión, ofrece enormes oportunidades para aumentar la eficiencia pero requiere inversiones; menos del 10% de las fincas estadounidenses utilizan estos métodos[241]
Reducción de la necesidad de agua	
Selección de cultivos	Evitar cultivos con gran necesidad de agua en regiones áridas o semiáridas. Elegir cultivos perennes que mantienen el suelo y estimulan los sistemas de micorrizas.
Agricultura climáticamente inteligente	Una fusión de muchas de las técnicas y tecnologías mencionadas anteriormente con un enfoque en prácticas localmente apropiadas resilientes al clima.
Apoyo de los agricultores	
Seguro de índice climático	Los bancos pueden proporcionar servicios financieros climáticamente inteligentes para cadenas de valor agrícola resilientes al clima.[242]

Cuadro 8.6: Recolección de agua de lluvia en Brasil[244]

El noreste de Brasil es una región semiárida, caracterizada por una grave falta de agua y sequías que contribuyen al subdesarrollo de la región. El programa «Un millón de recolecciones de agua pluvial» (P1MC) fue lanzado por grupos de la sociedad civil de la región, dirigido a familias rurales sin una fuente segura de agua potable cerca de su hogar. Bajo este programa, hasta diciembre de 2007 se habían movilizado 228 541 familias, se habían construido 221 514 sistemas de recolección de agua de lluvia (RWH) y se había impartido formación a 5848 albañiles. El objetivo de P1MC era construir un millón de sistemas de RWH para el acceso descentralizado al agua potable a un millón de familias. Este programa benefició a las mujeres en particular, ya que redujo su trabajo diario de ir a buscar agua. En 2012, Brasil experimentó una de las sequías más severas jamás registradas, que causó grandes pérdidas de cultivos y ganado y redujo varios depósitos a niveles críticos. La sequía atrajo la atención de diferentes tomadores de decisiones, expertos y medios de comunicación internacionales y locales, así como de la población. Desde entonces, Brasil ha tratado de pasar de la gestión reactiva a las crisis a los enfoques proactivos basados en el riesgo.

Protección y recuperación de los ecosistemas naturales

Las áreas protegidas de varios tipos ya cubren alrededor del 20,7 por ciento de los lagos y humedales restantes del mundo.

Garantizar la prestación futura de los servicios de los ecosistemas de agua dulce requiere una serie de estrategias coordinadas, que funcionen a nivel de una cuenca hidrográfica o área de captación, integradas con la gestión de los ecosistemas terrestres circundantes. Si bien invertir en construcción de la infraestructura necesaria es un componente crítico de dicha gestión,[246] la «infraestructura natural»[247] o «infraestructura verde»[248] tendrá que desempeñar un papel cada vez más central[249]para proporcionar seguridad hídrica a largo plazo a las sociedades humanas mediante el mantenimiento de los ecosistemas naturales de agua dulce.[250] Por ejemplo, las cuencas boscosas y algunos humedales pueden suministrar agua más limpia que otros ecosistemas.[251] Ciertos bosques, como los bosques nubosos de montaña,[252] aumentan el flujo neto de la cuenca. Los bosques y los humedales también otorgan importantes mecanismos de control de inundaciones, proporcionando espacio para que las inundaciones se disipen de manera segura y bloqueando la tasa de flujo, así como otros servicios ecosistémicos importantes.[253]

El reconocimiento de estos múltiples papeles significa que los ecosistemas naturales han dejado de ser considerados improductivos y sólo adecuados para la explotación humana, sino que también son considerados componentes esenciales para el mantenimiento de la salud y los medios de vida de las poblaciones. Este reconocimiento es el primer paso para lograr la seguridad hídrica a largo plazo.

Por lo tanto, las áreas protegidas tienen un papel central que desempeñar en los enfoques de gestión sostenible a nivel de cuenca,[254] aunque a menudo la protección específica de los ecosistemas de agua dulce a este respecto se ha pasado por alto .[255] Las áreas protegidas de varios tipos ya cubren alrededor del 20,7 por ciento de los lagos y humedales restantes del mundo[256], ayudando a dar forma a las políticas globales de agua y permitiendo una rehabilitación y restauración a gran escala. Estas áreas son de importancia vital para mantener los servicios del agua mediante la protección de los regímenes de flujo natural, excluyendo las especies no nativas, y proporcionando en ocasiones una conservación completa de la cuenca.[257] Integrarlos de manera más consciente y centralizada en los enfoques de la GIRH es un componente importante que todavía falta en muchas estrategias nacionales del agua.

Ya existen muchos buenos ejemplos de integración de la GIRH, que demuestran el valor del enfoque conjunto en la conservación y el desarrollo sostenible. En ciudades como Nueva York[259] y Melbourne[260] ha resultado rentable proteger y restaurar los bosques como proveedores de agua potable en lugar de invertir en nuevas plantas de purificación. Los bosques nubosos y las turberas

Cuadro 8.7: Uso de aguas residuales

El uso razonable de las aguas residuales para los cultivos ayudará a resolver la escasez de agua en el sector agrícola. En un momento en que necesitamos producir más alimentos para alimentar a una población cada vez mayor, los agricultores pueden utilizar las aguas residuales ya sea directamente mediante el riego o indirectamente por la recarga de los acuíferos. En Túnez se utilizan ampliamente las aguas residuales en proyectos agroforestales, apoyando tanto la producción de madera como los esfuerzos para combatir la desertificación. En el centro de México, las aguas residuales municipales se utilizan desde hace tiempo para regar los cultivos. En el pasado, los procesos ecológicos ayudaban a reducir los riesgos para la salud. Más recientemente, se han añadido al sistema las restricciones de cultivos (algunos cultivos pueden ser cultivados con seguridad con aguas residuales, mientras que otros no pueden) y la implantación de instalaciones de tratamiento de agua. Las aguas residuales, adecuadamente gestionadas, pueden utilizarse de forma segura para apoyar la producción de cultivos – directamente mediante el riego o indirectamente mediante la recarga de acuíferos–, pero para ello se requiere una gestión diligente de los riesgos sanitarios mediante un tratamiento adecuado o un uso correcto.

© Will Parson/Programa de la bahía de Chesapeake

de alta montaña (páramos) en áreas protegidas alrededor de Quito y Tegucigalpa proporcionan un suministro de agua de alta calidad a estas dos importantes ciudades latinoamericanas.[261] Un número cada vez mayor de países depende de áreas protegidas ubicadas estratégicamente como parte de las políticas de reducción de los riesgos de desastres.[262] La protección y recuperación de humedales puede ayudar a reducir las pérdidas de carbono y, por lo tanto, a mitigar el cambio climático, en particular las enormes reservas de carbono en turberas que actualmente están amenazadas.[263]

Con voluntad política y la participación de las partes interesadas, el establecimiento y la gestión de áreas protegidas es una herramienta política o normativa relativamente sencilla para mantener la infraestructura natural, y por lo general cuenta con la protección legal o consuetudinaria asociadas para garantizar un grado de permanencia, junto con empleo, capacidad y políticas de gestión.[264] Sin embargo, la responsabilidad de la conservación dentro de la mayoría de los marcos legales suele estar separada de la responsabilidad de otros servicios y de la defensa civil, lo que significa que los vínculos cruzados a menudo se pierden en la práctica.

Cuadro 8.8: Protección de los bosques naturales para el control de las inundaciones

Los patrones irregulares de lluvias en Argentina causan inundaciones y sequías. En todos los escenarios de cambio climático, estos extremos climáticos continuarán y serán más frecuentes. En la actualidad, alrededor de una cuarta parte del país sufre repetidas inundaciones, en particular en el noreste, que tiene tres ríos principales (Paraná, Paraguay y Uruguay), extensas llanuras bajas y más de la mitad de la población humana. Un programa de protección contra las inundaciones proporcionó actividades rentables para las zonas económicas y ecológicas más importantes y una estrategia para hacer frente a las inundaciones recurrentes: mantenimiento de instalaciones de defensa contra inundaciones, sistemas de alerta temprana de inundaciones, directrices ambientales para zonas inundables y planes de emergencia ante inundaciones. Además, se protegieron las extensas áreas de bosques naturales como parte del sistema de defensa contra inundaciones, proporcionando así una alternativa relativamente barata a la costosa infraestructura con altos beneficios de conservación de la biodiversidad.[258]

Cuadro 8.9: Servicios de agua de áreas protegidas

La mayor parte de la población mundial vive aguas abajo de las cuencas boscosas.[265] Estas ofrecen agua de mayor calidad que las cuencas sometidas a usos alternativos de la tierra, que tienden a tener menos cobertura vegetal (y, por lo tanto, más erosión del suelo y sedimentos) y es probable que estén más contaminados (p. ej., por plaguicidas y fertilizantes o por residuos tóxicos).[266] Los beneficios que proporcionan los bosques han sido reconocidos desde hace muchos años por empresas que dependen de agua de alta calidad: por ejemplo, en Francia la empresa de agua mineral Perrier-Vittel paga para restaurar los bosques en la cuenca de captación de agua.[267] Un tercio (33 de 105) de las mayores ciudades del mundo obtienen una proporción significativa de su agua potable directamente de áreas protegidas. Al menos otras cinco ciudades de este grupo obtienen agua de fuentes que se originan en cuencas distantes que incluyen áreas protegidas; y por lo menos ocho más obtienen agua de bosques gestionados de tal manera que dan prioridad a sus funciones ecológicas en la provisión de agua.[268] Muchas áreas originalmente protegidas por sus valores paisajísticos o faunísticos se consideran ahora también vitales por sus beneficios relacionados con el agua. El Parque Nacional Yosemite de California, EE.UU., por ejemplo, ayuda a suministrar agua de alta calidad a San Francisco; los bosques nubosos del Parque Nacional hondureño de La Tigra proporcionan más del 40 por ciento del suministro anual de agua a la capital, Tegucigalpa, y alrededor del 80 por ciento del millón y medio de habitantes de Quito recibe agua potable de dos áreas protegidas.[26]

Cuadro 8.10: Gestión del agua en Sudáfrica

Sudáfrica es uno de los 30 países más secos del mundo. Mientras que el uso promedio diario de agua per cápita es de 173 litros, los sudafricanos utilizan de promedio un 62 por ciento más de agua.[277] Con el fin de equilibrar la demanda y la oferta, Sudáfrica ha logrado avances significativos en las últimas décadas para aumentar la eficiencia en el uso del agua. En primer lugar, en 1994 el gobierno publicó un Libro Blanco sobre la Política de Agua y Saneamiento, que dio lugar a la Ley de Servicios de Agua de 1997. En segundo lugar, la Ley Nacional del Agua (NWA) N.º 36 de 1998 promovió un enfoque integrado y descentralizado de gestión de los recursos hídricos, que puso el énfasis en la importancia de la eficiencia económica, la protección del medio ambiente, la equidad y el empoderamiento de las personas.[278]

Sudáfrica es uno de los pocos países del mundo que consagra en su Constitución el derecho básico a una cantidad suficiente de agua, afirmando que «Toda persona tiene derecho a tener acceso a (...) alimentos y agua suficientes». Partiendo en esta base, ambas leyes son complementarias y proporcionan un marco para la gestión sostenible de los recursos hídricos, al tiempo que permiten mejorar y ampliar la prestación de servicios. La NWA requiere que los administradores del agua y los responsables políticos tengan un conocimiento profundo de los valores económicos del agua y sus diversos usos, así como de los sistemas de información que integran las dimensiones hidrológicas, económicas y sociales de la oferta y demanda de agua en el marco de un sistema de gestión integral de los recursos hídricos (GIRH).[279]

Los esquemas de pago de los servicios de los ecosistemas (PSE) ayudan a proporcionar incentivos económicos a las personas que viven en zonas que suministran servicios hídricos para mantener la salud de los ecosistemas naturales o gestionados. Un enfoque es cobrar tarifas de uso a las personas y empresas que se benefician del agua potable, para ayudar a pagar estos beneficios de captación proporcionados por la gestión de áreas protegidas, o por comunidades locales. Estos esquemas de PSA se consideran cada vez más modelos económicos viables siempre y cuando haya una fuente identificable de compensación (aquellos dispuestos a pagar una tarifa), bajos costes de transacción, buenos flujos de información y un método para transferir los beneficios equitativamente entre individuos.[270]

La protección por sí sola ya no es suficiente. El mundo ya ha perdido mucha superficie de humedales y se necesitan grandes esfuerzos para recuperar ríos, lagos y estanques de libre circulación, depósitos de aguas subterráneas y humedales en funcionamiento. Por lo tanto, la restauración es otro componente importante de la gestión de las aguas dulces para sus servicios ecosistémicos.[271] Restauración no significa simplemente recuperar áreas de agua o quitar las presas redundantes. Por ejemplo, la restauración de los ríos abarca «el restablecimiento de los procesos físicos naturales (p. ej., la variación del flujo y el movimiento del sedimento), las características (p. ej., el tamaño de los sedimentos y la forma del río) y los hábitats físicos de un sistema fluvial](incluidos los sumergidos, las áreas de ribera y las planicies aluviales).»[272] Se pueden aplicar principios similares en la restauración de las zonas costeras para detener la erosión, con un enfoque de «construir con la naturaleza», utilizando presas permeables para reducir la energía de las olas y estimular la sedimentación.[273]

Una combinación de restauración planificada y protección juiciosa de las cuencas hidrográficas puede, por lo tanto, garantizar una mayor seguridad hídrica para los usuarios aguas abajo.

Trabajando hacia ciudades sostenibles

Aunque las ciudades plantean problemas particulares para el suministro y la gestión del agua, también ofrecen un conjunto de soluciones innovadoras mediante la conexión de personas, la transferencia de conocimientos y el apoyo a agrupaciones empresariales que hagan cosas similares. Las autoridades locales con visión de futuro pueden estimular mejoras rápidas. Los sistemas de transporte urbano eficientes, las energías renovables y el control de las aguas residuales pueden reducir el consumo de agua y los residuos, mientras que las campañas de información, junto con las políticas de precios, pueden hacer que los consumidores tomen más conciencia del agua.

Las ciudades sostenibles dependen de ecosistemas bien gestionados. La degradación lejana puede afectar a los ciudadanos. Las personas que viven en el puerto de Mombasa, en Kenia, dependen del agua de las colinas Chyulu, a cien millas de distancia. A pesar de que Chyulu es un área protegida, la mala capacidad de gestión significa que la tala ilegal y el asentamiento continúan, amenazando la seguridad del agua urbana.[274] A menudo tiene sentido que las autoridades municipales inviertan en la gestión de los ecosistemas, pero se necesita un conjunto de funcionarios creativos para establecer la conexión y obtener los fondos necesarios. Las políticas de precios que fomentan un uso más eficiente del agua son una forma universal de abordar la escasez urbana, aunque la efectividad relativa de esto en comparación con medidas técnicas y campañas de concienciación pública sigue siendo poco concluyente.[275] Los pasos hacia una planificación urbana más sostenible se describen en el capítulo 11.

Reforma política

Muchos de los cambios identificados anteriormente sólo pueden lograrse si están respaldados por políticas y leyes sólidas a nivel nacional, establecidas frente a un contexto de acuerdos internacionales y un reconocimiento mundial de la necesidad de administrar el agua con más cuidado para evitar crisis. Se requieren enfoques pro–activos, centrándose en el mantenimiento de la infraestructura natural para obtener múltiples beneficios, aumentando la capacidad de recuperación de los sistemas hidrológicos frente al cambio ambiental y un acceso más equitativo a un suministro adecuado de agua limpia. El cambio del comportamiento del consumidor es también una parte crítica de este proceso, y los intentos de hacerlo pueden basarse en campañas de concienciación pública, cambios tecnológicos, regulación y políticas de precios. Si bien todos pueden ser útiles en diferentes contextos, todavía hay debate sobre su relativa efectividad.[276] Las políticas no sólo deben establecerse, sino comunicarse eficazmente a las partes interesadas en el gobierno, la industria y las comunidades, para que se comprenda profundamente la importancia y los medios prácticos de lograr un suministro seguro y sostenible de agua.

© Albert González Farran

CONCLUSIÓN

La seguridad del agua se ve menoscabada, en particular por la combinación de modelos agrícolas inadecuados, los rápidos cambios demográficos y los efectos desestabilizadores del cambio climático. Las malas elecciones desde el individuo hasta el nivel nacional exacerban la situación. Los países y las comunidades están sufriendo tanto de escaseces como de excesos. La pérdida de humedales, la disminución de la calidad del agua y los dramáticos cambios en los regímenes de flujo de los principales sistemas hidrológicos están llevando a un colapso de la biodiversidad de agua dulce y de los servicios esenciales de los ecosistemas.

La mejora de la seguridad del agua requiere un enfoque integrado y transversal que aproveche los vínculos entre las prácticas de ordenación del territorio y la salud de los sistemas hidrológicos. En resumen, algunos de los pasos más críticos incluyen: uso más eficiente del agua en la agricultura, la industria, la energía y los hogares; reglamentación y legislación, incluida la fijación de precios y la asignación, para fomentar la eficiencia; una mayor protección y restauración para mejorar el funcionamiento general del ecosistema de la cuenca hidrográfica. Los conocimientos técnicos para ayudar a resolver la crisis del agua son ampliamente conocidos; el siguiente paso es aplicar estas lecciones aprendidas a la escala requerida.

REFERENCIAS

1 McIntosh, R.J. 2005. Ancient Middle Niger: Urbanism and the self-organizing landscape. Cambridge University Press, Cambridge.

2 Cunliffe, B. 2016. By Steppe, Desert and Ocean: The birth of Eurasia. Oxford University Press, Oxford.

3 Ponting, C. 1992. A Green History of the World, Penguin, Middlesex.

4 Jacobson, T. and Adams, R.M. 1958. Salt and silt in ancient Mesopotamian agriculture. Science **128**: 1251-1258.

5 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2015. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. (ST/ESA/SER.A/366).

6 De Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., et al. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. Ecosystem Services **1**: 50-61.

7 Russi D., ten Brink P., Farmer A., Badura T., Coates D., et al. 2013. The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands. IEEP, London and Brussels; Ramsar Secretariat, Gland.

8 McCartney, M., Rebelo, L.M., Senaratna Sellamuttu, S., and de Silva, S. 2010. Wetlands, agriculture and poverty reduction. Research Report 137. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

9 Lopez Gunn, E. and Ramón Llamas, M. 2008. Re-thinking water scarcity: Can science and technology solve the global water crisis? Natural Resources Forum **32**: 228-238.

10 World Economic Forum. 2016. Global Risks 2016. 11th Edition. World Economic Forum within the framework of The Global Competitiveness and Benchmarking Network.

11 http://www.iwra.org/congress/2015/ accessed October 8, 2016.

12 UN World Water Assessment Programme. 2015. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO.

13 http://www.unwater.org/sdgs/a-dedicated-water-goal/en/ accessed January 1, 2017.

14 UN Water. 2013. Water Security & the Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief. United Nations University, Hamilton, Canada.

15 UN Water. 2015. http://www.un.org/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml, accessed October 5, 2016.

16 Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances **2** (2) e1500323.

17 Brauman, K.A., Richter, B.D., Postel, S., Malsy, M., and Flörke, M. 2016. Water depletion: An improved metric for incorporating seasonal and dry-year water scarcity into water risk assessments. Elementa: Science of the Anthropocene **4**: 000083.

18 World Water Council. 2000. World Water Vision, Earthscan, London.

19 Wallace, J.S. 2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. Agriculture, Ecosystems and Environment **82**: 105-119.

20 Bogardi, J.J., Dudgeon, D., Lawford, R., Flinkerbusch, E., Meyn, A., et al. 2012. Water security for a planet under pressure: Interconnected challenges of a changing world call for sustainable solutions. Current Opinion in Environmental Sustainability **4**: 35-43.

21 Gerten, D., Hoff, H., Rockström, J., Jägermeyr, J., Kummu, M, et al. 2013. Towards a revised planetary boundary for consumptive freshwater use: Role of environmental flow requirements. Current Opinion in Environmental Sustainability **5**: 551-558.

22 Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell Fetzer, S.E.I., Bennett, E.M., et al. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science **347.** DOI: 10.1126/science.1259855.

23 Revenga, C., Brunner, J., Henninger, N., Kassem, K., and Payne, R. 2000. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems. World Resources Institute, Washington, DC.

24 Gassert, F., Reig, P., Luo, T., and Maddocks, A. 2013. Aqueduct country and river basin rankings: A weighted aggregation of spatially distinct hydrological indicators. World Resources Institute, Washington, DC.

25 Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. 2016. Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances, 2(2), e1500323.

26 Ibid.

27 Micklin, P. 2016. The future Aral Sea: hope and despair. Environmental Earth Sciences **75**: 844. doi:10.1007/s12665-016-5614-5

28 Lemoalle, J., Bader, J.C., Leblanc, M., and Sedick, A. 2012. Recent changes in Lake Chad: Observations, simulations and management options (1973–2011). Global and Planetary Change **80-81**: 247-254.

29 Besada, H. and Werner, K. 2015. An assessment of the effects of Africa's water crisis on food security and management, International Journal of Water Resources Development **31**: 1, 120-133.

30 Joosten, H., Tapio-Bistöm, M-L., and Tol, S. (eds.). 2012. Peatlands – guidance for climate change mitigation by conservation, rehabilitation and sustainable use. FAO, Rome.

31 Poff, N.L., Allan, J.D., Palmer, M.A., Hart, D.D., Richter, B.D., et al. 2003. River flows and water wars: Emerging science for environmental decision making. Biological Sciences Faculty Publications. Paper 233. University of Montana.

32 Wolf, A.T., Yoffe, S.B., and Giordano, M. 2003. International waters: Identifying basins at risk. Water Policy **5**: 29-60.

33 de Villiers, M. 1999. Water Wars: Is the World's Water Running Out? London: Weidenfeld & Nicolson.

34 Shiva, V. 2002. Water Wars. South End Press.

35 Katz, D. 2011. Hydro-political hyperbole: Examining incentives for overemphasizing the risks of water wars. Global Environmental Politics **11** (1): 12-35.

36 Busby, J. 2017. Water and U.S. National Security. Discussion paper. Council on Foreign Relations, Washington, DC.

37 Wolf, A.T., Kramer, A., Carius, A., and Dabelko, G.D. 2005. Managing water conflict and cooperation. In: World Resources Institute. State of the World 2005: Redefining global security. WRI, Washington, DC.

38 Barbut, M. and Alexander, S. 2015. Land degradation as a security threat amplifier: The new global frontier. In: Chabey, I., Frick, M., and Helgeson, J. (eds.) Land Restoration: Reclaiming landscapes for a sustainable future. Elsevier.

39 Famiglietti, J.S. 2014. The global groundwater crisis Nature Climate Change **4**: 945-948.

40 Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M.F.P., and van Beek, L.P.H. 2012. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. Nature **488**: 197-200.

41 Famiglietti, J.S. 2014. Op. cit.

42 Gleeson, T., et al. 2012. Op. cit.

43 Siebert, S., Burke, J., Faures, J. M., Frenken, K., Hoogeveen, J., et al. 2010. Groundwater use for irrigation – a global inventory, Hydrology and Earth System Sciences **14**: 1863-1880, doi:10.5194/hess-14-1863

44 Siebert, S., et al. 2010. Op. cit.

45 MacDonald, A.M., Bonsor, H.C., Dochartaigh, B.É.Ó., and Taylor, R.G. Quantitative maps of groundwater resources in Africa. Environmental Research Letters **7** (2): 24009-24015.

46 Rosegrant, M.W., Ringler, C., and Zhu, T. 2009. Water for agriculture: Maintaining food security under growing scarcity. Annual Review of Environmental Resources **24**: 205-222.

47 FAO. 2011. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Managing systems at risk. FAO and Earthscan, Rome and London.

48 UNEP. 2012. Sustainable Land Use for the 21st Century. United Nations Environment Programme, Nairobi.

49 WWF. Undated. Thirsty Crops. WWF International, Gland, Switzerland.

50 Hoekstra, A. and Chapagain, A.K. 2006. Water footprint of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resources Management **21** (1): 35-48.

51 Eshel, G., Shepon, A., Makov, T., and Milo, R. 2014. Land, irrigation water, greenhouse gas, and reactive nitrogen burdens of meat, eggs, and dairy production in the United States, Proceedings of the National Academy of Sciences **111** (33): 11996-12001.

52 Biancalani R. and Avagyan, A. (eds). 2014. Towards climate responsible peatlands management. Mitigation of climate change in agriculture. Series 9. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

53 Hoekstra, A. and Chapagain, A.K. 2006. Op. Cit.

54 Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Island Press, Washington, DC, USA.

55 http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs290/en/ accessed November 17, 2016.

56 Wojciechowska-Shibuya, M. 2016. The USSGAB Journey. United Nations, New York.

57 Satterthwaite, D. 2016. Missing the Millennium Development Goal targets for water and sanitation in urban areas. Environment and Urbanisation **28**: 99-118.

58 Onda, K., LoBuglio, J., and Bartram, J. 2012. Global access to safe water: Accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress. International Journal of Environmental Research and Public Health **9**: 880-894.

59 Bain, R., Cronk, R., Hossain, R., Bonjour, S., Onda, K., et al. 2014. Global assessment of exposure to faecal contamination through drinking water based on a systematic review. Tropical Medicine and International Health **19** (8): 917-927.

60 Zingore, S., Mutegi, J., Agesa, B., Tamene, L., and Kihara, J. 2015. Soil degradation in sub-Saharan Africa and crop production options for soil rehabilitation. Better Crops **99** (1): 24-26.

61 UNICEF and World Health Organization. 2015. Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment. Geneva.

62 UN Habitat. 2003. Water and Sanitation in the World's Cities: Local action for global goals. Earthscan, London.

63 Liu, L., Oza, S., Hogan, D., Perin, J., Rudan, I., et al. 2015. Global, regional and national causes of child mortality in 2000-2013, with projections to inform post-2015 priorities: An updated systematic analysis. The Lancet **385**: 430-440.

64 Sutton, M.A., Bleeker, A., Howard, C.M., Bekunda, M., Grizzetti, B., et al. 2013. Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution. Global Overview of Nutrient Management. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative.

65 Erisman, J.W., Galloway, J.N., Seitzinger, S., Bleeker, A., Dise, N.B., et al. 2013. Consequences of human modification of the global nitrogen cycle. Philosophical Transactions of the Royal Society B 368 (1621): DOI: 10.1098/rstb.2013.0116.

66 Pretty, J.N. and Conway, G.R. 1988. The Blue Baby Syndrome and Nitrogen Fertilizers: A high risk in the tropics? Gatekeeper Series number 5. International Institute for Environment and Development, London.

67 Smith, V.H., Joye, S.B., and Howarth, R.W. 2006. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. Limnology and Oceanography **51** (2): 351-355.

68 Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.J. 2015. Global gray water footprint and water pollution levels related to anthropogenic nitrogen loads to fresh water. Environmental Science and Technology **49**: 12860-12868.

69 Sharpley, A.N. 2015. The phosphorus paradox: Productive agricultural and water quality. Journal of Environmental Indicators **9**: 3-4.

70 Köhler, H.R. and Triebskorn, R. 2013. Wildlife ecotoxicology of pesticides: Can we track effects to the population level and beyond? Science **341**: 759-765.

71 Beketov, M., Kefford, B.J., Schäfer, R.B., and Liess, M. 2013. Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. Proceedings of the National Academy of Sciences **110** (27): 11039-11043.

72 Bates, B., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., and Palutikof, J. (eds.) 2008. Climate Change and Water, Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO and UNEP, Geneva.

73 Dore, M.H.I. 2005. Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? Environment International **31** (8): 1167-1181.

74 Huq, S., Kovats, S., Reid, H., and Satterthwaite, D. 2007. Editorial: Reducing risks to cities from disasters and climate change. Environment and Urbanization **19**: 3.

75 Güneralp, B., Güneralp, I., and Liu, Y. 2015. Changing global patterns of urban exposure to flood and drought hazards. Global Environmental Change **31**: 217-225.

76 van Aalst, M. K. 2006. The impacts of climate change on the risk of natural disasters. Disasters, **30**:1, 5-18.

77 Douglas, I., Alam, K., Maghenda, M., McDonnell, Y., McLean, L., and Campbell, J. 2008. Unjust waters: Climate change, flooding and the urban poor in Africa. Environment and Urbanisation **20** (1): 187-205.

78 UN Water. (Undated). Water Hazard Risks: A priority for integrated water resource management. UN Water Policy Brief number 1. United Nations, Geneva.

79 Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. 2016. The Human Cost of Weather-Related Disasters, CRED and UNISDR, Brussels and Geneva.

80 Adhikari, P., Hong, Y., Douglas, K.R., Kirschbaum, D.B., Gourley, J., et al. 2010. A digitized global flood inventory (1998–2008): Compilation and preliminary results. Natural Hazards Journal **55**: 405-422.

81 International Commission for the Protection of the Danube River. 2008. The Analysis of the Danube Floods 2006: An in depth analysis of the floods on the Danube and its main tributaries in 2006. Vienna.

82 EM-DAT. 2016. Disasters in Numbers 2015. International Disasters Database, Brussels.

83 Sheffield, J., Andreadis, K.M., Wood, E.F., and Lettenmaier, D.P. 2008. Global and continental drought in the second half of the twentieth century: Severity-area-duration analysis and temporal variability of large-scale events. Journal of Climate **22**: 1962-1981.

84 Dai, A. 2011. Drought under global warming: A review. WIREs Climate Change **2**: 45-65.

85 Checchi, F. and Robinson, W.C. 2013. Mortality among populations of southern and central Somalia affected by severe food insecurity and famine during 2010-2012. A study commissioned by FAO/FSNAU and FEWS NET. Rome.

86 EM-DAT. The International Disaster Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters- CRED, The Ripple Effect: A fresh approach to reducing drought impacts and building resilience. Bonn, accessed January 13, 2014 and quoted in UNCCD, 2016.

87 Gosling, S.N. and Arnell, N.W. 2016. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. Climatic Change **134**: 371-385.

88 OCHA 2016. El Nino: Overview of impacts, projected humanitarian needs and response, OCHA, March.

89 El Nino and La Nina years and intensities. The Oceanic Nino index. http://ggweather.com/enso/oni.htm.

90 Wanders, N. and Wada, Y. 2014. Human and climate impacts on the 21st century hydrological drought. Journal of Hydrology **526**: 208-220.

91 Marengo, J.A., Borma, L.S., Rodriguez, D.A., Pinho, P., Soares, W.R, et al. 2013. Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: Vulnerabilities and human adaptation. American Journal of Climate Change **2**: 87-96.

92 World Bank. 2016. The Cost of Fire. An economic analysis of Indonesia's 2015 fire crisis. World Bank, Washingon, DC.

93 Koplitz,S.N., Mickley, L.J., Marlier, M.E., Buonocore, J.J., Kim, P.S., et al. 2016. Public health impacts of the severe haze in Equatorial Asia in September–October 2015: Demonstration of a new framework for informing fire management strategies to reduce downwind smoke exposure. Environmental Research Letters **11** (9): doi:10.1088/1748-9326/11/9/094023.

94 van Dijk, A.I.J.M., Beck, H.E., Crosbie, R.S., de Jeu, R.A.M., Liu, Y.Y., et al. 2013. The Millennium Drought in southeast Australia (2001–2009): Natural and human causes and implications for water resources, ecosystems, economy, and society. Water Resources Research **49**: 1040-1057.

95 Wilhite, D.A. and Glantz, M.H. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International **10** (3):111-120.

96 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 **39**: 108-124.

97 World Commission on Dams. 2000. Dams and Development: A new framework for decision-making. Earthscan, London.

98 Pearce, F. 1992. The Dammed: Rivers, dams and the coming water crisis. The Bodley Head, London.

99 Zarfl, C., Lumsdon, A.E., Berlekamp, J., Tydecks, L., and Tockner, K. 2014. A global boom in hydropower dam construction. Aquatic Sciences 77 (1): 161-170.

100 Wetlands International, 2016. New Irrigation Plans Threaten Flood Production Inner Niger Delta. Wetlands International news release. September 21, 2016. https://www.wetlands.org/news/new-irrigation-plans-threaten-food-production-inner-niger-delta/

101 Macedo, M.N., Coe, M.T., DeFries, R., Uriarte, M., Brando, P.M., et al. 2013. Land-use-driven stream warming in southeastern Amazonia. Philosophical Transactions of the Royal Society London B **368**: 20120153.

102 Pearce, F. 1992. Op. cit.

103 Douglas, E.M., Wood, S., Sebastian, K., Vörösmarty, C.V., Chomitz, K.M, et al. 2007. Policy implications of a pan-tropic assessment of the simultaneous hydrological and biodiversity impacts of deforestation. Water Resources Management **21**: 211-232.

104 Guérin, F., Abril, G. Richard G., Burban B., Reynouard C., et al. 2006. Methane and carbon dioxide emissions from tropical reservoirs: Significance of downstream rivers. Hydrology and Land Surface Studies. Geophysical Research Letters **33** (21): doi:10.1029/2006GL027929.

105 Charity, S., Dudley, N., Oliveira, D., and Stolton, S. 2016. Living Amazon Report 2016. WWF Living Amazon Initiative, Brasilia, Brazil.

106 Tundisi, J.G., Goldemberg, J. Matsumura-Tundisi, T., and A.C.F. Saraiva. 2014. How many more dams in the Amazon? Energy Policy 74: 703-708.

107 Canas, C.M. and Pine, W.E. 2011. Documentation of the temporal and spatial patterns of Pimelodidae catfish spawning and larvae dispersion in the Madre de Dios (Peru): Insights for conservation in the Andean-Amazon headwaters. River Research and Applications **27**: 602-611.

108 Castello, L. and Macedo, M.N. 2015. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. Global Change Biology **22** (3): 990-1007.

109 Castello, L., McGrath, D.G., Hess, L.L., Coe, M.T., Lefebvre, P.A., et al. 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. Conservation Letters **6** (4): 217-229.

110 Macedo, M. and Castello, L. 2015. State of the Amazon: Freshwater Connectivity and Ecosystem Health. WWF Living Amazon Initiative, Brasília, Brazil.

111 Castello, L., et al. 2013. Op. cit.

112 Bernard, E., Penna, L.A.O., and E. Araújo. 2014. Downgrading, downsizing, degazettement, and reclassification of protected areas in Brazil. Conservation Biology **28** (2): 1523-1739.

113 Macedo, M. and Castello, L. 2015. Op. cit.

114 http://wwf.panda.org/wwf_news/?264030/Large-scale-degradation-of-Amazonian-freshwater-ecosystems

115 Finer, M. and Jenkins, C.N. 2012. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. PLoS ONE **7**: e35126.

116 Claudia M., Stickler, C.M., Coe, M.T., Costa, M.H., Nepstad, D.C., et al. 2013. Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon Basin at local and regional scales, Proceedings of the National Academy of Sciences **110** (23): 9601-9606.

117 Macedo, M. and Castello, L. 2015. Op. cit.

118 Scanlon, B.R., Jolly, I., Sophocleous, M., and Zhang, L. 2007. Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality. Water Resources Research **43** (3) doi:10.1029/2006WR005486.

119 Scanlon, et al. 2007. Op. cit.

120 Umali, D. L. 1993. Irrigation-induced Salinity: A growing problem for development and the environment**.** World Bank Technical Paper number 215. Washington, DC.

121 Pitman, M.G. and Läuchli, A. 2002. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: Läuchli, A. and Lüttge, U. (eds.) Salinity: Environment – Plants – Molecules. Kluwer Academic Publishers, pp. 3-20.

122 Schwabe, K.A., Kan, I., and Knapp, K.C. 2006. Drainwater management for salinity mitigation in irrigated agriculture. American Journal of Agricultural Economics **88**: 133-149.

123 Umali, D. L. 1993. Op. cit.

124 Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minayeva, T., et al. (eds.) 2008. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change. Main report. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.

125 Born, v. d., G.J., Kragt, F., Henkens, D., Rijken, B., Bemmel, van, B., et al. 2016. Dalende bodems, stijgende kosten. Den Haag.

126 Hooijer, A., Page, S., Canadell, J. G., Silvius, M., Kwadijk, J., et al. 2010. Current and future CO2 emissions from drained peatlands in Southeast Asia. Biogeosciences **7**: 1505-1514.

127 Hooijer, A., Page, S., Jauhiainen, J., Lee, W.A., Lu, X.X., et al. 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. Biogeosciences **9**: 1053-1071.

128 Hooijer, A., Verminnnen, R., Mawdsley, N., Page, S., Mulyadi, D., et al. 2015. Assessment of impacts of plantation drainage on the Kampar Peninsula peatland, Riau. Deltares report 1207384 to Wetlands International, CCLUA and Norad.

129 Douglas, E.M., et al. 2007. Op. cit.

130 Pagiola, S. 1999. The Global Environmental Benefits of Land Degradation Control on Agricultural Land. World Bank Environment Paper Number 16. The World Bank, Washington, DC.

131 Ramsar Secretariat. 2002. Climate change and wetlands: Impacts, adaptation and mitigation. COP8 Information Paper, DOC 11.

132 Bridgham, S.D., Megonigal, J.P., Keller, J.K., Bliss, N.B., and Trettin, C. 2006. The carbon balance of North American wetlands. Wetlands **26**: 889-916.

133 Mcleod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., et al. 2011. A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO_2. Frontiers in Ecology and the Environment **9**: 552-560.

134 Nahlik, A.M. and Fennessey, M.S. 2016. Carbon storage in US wetlands. Nature Communications. DOI: 10.1038/ncomms13835.

135 Turetsky, M.R., Benscoter, B., Page, S., Rein, G., van der Werf, G.R., et al. 2015. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. Nature Geoscience **8**: Pages:11-14 Year published:. DOI:doi:10.1038/ngeo2325

136 Mitra, S., Wassmann, R., and Vlek, P.L.G. 2005. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. Current Science **88** (1): 25-35.

137 Ramsar Secretariat, Ramsar Scientific & Technical Review Panel and Biodiversity Convention Secretariat 2007. Water, wetlands, biodiversity and climate change: Report on outcomes of an expert meeting, March 23-24, 2007, Gland, Switzerland.

138 Mitra, S., Wassmann, R., and Vlek, P.L.G. 2005. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. Current Science **88**: 25-35.

139 Parish, F., et al. (eds.) 2007. Op. cit.

140 Pena, N. 2008. Including peatlands in post-2012 climate agreements: Options and rationales. Report commissioned by Wetlands International from Joanneum Research, Austria.

141 Sabine, C.L., Heimann, M., Artaxo, P., Bakker, D.C.E., Chen, C.T.A., et al. 2004. Current status and past trends of the global carbon cycle. In: Field, C.B. and Raupach, M.R. (eds.) The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World. Island Press, Washington, D.C., USA, pp. 17-44.

142 Verwer, C., van der Meer, P., and Nabuurs, G. 2008. Review of carbon flux estimates and other greenhouse gas emissions from oil palm cultivation on tropical peatlands – identifying gaps in knowledge, Alterra report 1741. Alterra, Wageningen, Netherlands.

143 Trumper, K., Bertzky, M., Dickson, B., van der Heijden, G., Jenkins, M., et al. 2009. The Natural Fix? The role of ecosystems in climate mitigation, A UNEP rapid response assessment, United Nations Environment Programme, UNEP WCMC, Cambridge, UK.

144 Hooijer, A., Silvius, M., Wösten, H., and Page, S. 2006. PEAT-CO2, Assessment of CO_2 emissions from drained peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics report Q3943.

145 Callaghan, T.V., Björn, L.O., Chapin III, F.S., Chernov, Y., Christensen, T.R., et al. 2005. Arctic Tundra and Polar Desert Ecosystems. In ACIA, Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, Cambridge UK.

146 Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Russell, G., Lea, D.W., et al. 2007. Climate change and trace gases, Philosophical Transactions of the Royal Society **365**: 1925-1954.

147 Erwin, K. 2009. Wetlands and global climate change: The role of wetland restoration in a changing world. Wetlands Ecology and Management **17**: 71-84.

148 Farrell, C. and Doyle, G. 2003. Rehabilitation of industrial cutaway Atlantic blanket bog in County Mayo, North-West Ireland. Wetlands Ecology and Management **11**: 21. doi:10.1023/A:1022097203946.

149 Wetlands International 2008. Advice to UNFCCC Parties for COP14 and associated meetings, December 2008, Wetlands International, Wageningen, Netherlands.

150 http://thebluecarboninitiative.org/ accessed February 17, 2017.

151 Mauerhofer, V. 2011. A bottom-up 'Convention-Check' to improve top-down global protected area governance. Land Use Policy **28**: 877-886.

152 Davidson, N. 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. Marine and Freshwater Research **65**: 934-941.

153 Revenga, C. and Yura, K. 2003. Status and Trends of Biodiversity of Inland Water Ecosystems. Technical Series number 11. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.

154 Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.

155 Dixon, M.J.R., Loh, J., Davidson, N.C., Beltrame, C., Freeman, R., et al. 2016. Tracking global change in ecosystem area: The Wetland Extent Trends Index. Biological Conservation **193**: 27-35.

156 Ramsar Convention Secretariat. 2016. An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands, 7th edition. (previously The Ramsar Convention Manual). Gland, Switzerland.

157 Garcia-Moreno, J., Harrison, I., Dudgeon, D., Clausnitzer, V., Darwall, W., et al. 2014. Sustaining freshwater biodiversity in the Anthropocene. In: Bogardi, J., Bhadurim, A., Leentvaar, J. and Marx, S. (eds.) The Global Water System in the Anthropocene: Challenges for Science and Governance. Springer, Switzerland, pp. 247-270.

158 Strayer, D.L. and Dudgeon, D. 2010. Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. Journal of the North American Benthological Society **29**: 344-358.

159 Collen, B., Whitton, F., Dyer, E.E., Baillie, J.E.M., Cumberlidge, N., et al. 2014. Global patterns of freshwater species diversity, threat and endemism. Global Ecology and Biogeography **23**: 40-51.

160 Stuart, S.N, Hoffman, J.S., Chanson N.A., Cox, et al. 2008. Threatened Amphibians of the World. Lynx Editions, Barcelona.

161 Barthem, R. and Goulding, M. 1997. The catfish connection: Ecology, migration and conservation of Amazon predators. Columbia University Press, New York.

162 Finer, M. and Jenkins, C.N. 2012. Op. cit.

163 Petrere, M. Jr., Borges Barthem, R., Agudelo Córdoba, E., and Corrales Gómez, B. 2004. Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and the stock depletion of piraíba (Brachyplatystoma filamentosum Lichtenstein). Reviews in Fish Biology and Fisheries **14**: 403-414.

164 Castello, L., McGrath, D.G., Hess, L.L., Coe, M.T., Lefebvre, P.A., et al. 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. Conservation Letters 6: 217-229.

165 Revenga, C., Murray, S., Abramovitz, J., and Hammond, A. 1998. Watersheds of the World: Ecological Value and Vulnerability. World Resources Institute, Washington, DC.

166 Darwall, W., Smith, K., Allen, D., Seddon, M., Mc Gregor Reid, G., et al. 2008. Freshwater biodiversity – a hidden resource under threat. In: Vié, J.-C., Hilton-Taylor, C., and Stuart, S.N. (eds.) The 2008 Review of the IUCN Red List of Threatened Species. IUCN, Gland, Switzerland.

167 Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.

168 Modified from De Groot, R.S., Stuip, M.A.M., Finlayson, C.M., and Davidson, N. 2006. Valuing wetlands: Guidance for valuing the benefits derived from wetland ecosystem services, Ramsar Technical Report No. 3/CBD Technical Series No. 27. Ramsar and the CBD, Gland, Switzerland and Montreal, Canada.

194 Llamas, J. 1987. Risk of drought and future water requirements on a regional scale. International Journal of Water Resources Development **3**: 260-265.

195 Micklin, P. 2016. Op. cit.

196 Gao, H., Bohn, T.H., Podest, E., McDonald, K.C., and Lettenmaier, D.P. 2011. On the causes of the shrinking of Lake Chad. Environmental Research Letters **6** (3).

197 Huxley, J. 1943. TVA: Adventure in Planning. The Architectural Press, London.

198 Duda, A.M., Menzies, S., Severin, C., Hume, A., Sundstrom, K.R., et al. 2012. Contributing to Global Security: GEF Action on Water, Environment, and Livelihoods. Global Environment Facility, Washington, DC.

199 WWF. 2013. Soy and Biodiversity Loss: Expanding markets, declining ecosystems and what we can do about it. WWF International, Gland, Switzerland.

200 FAO. 2007. Future Expansion of Soybean 2005-2014. FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean, Rome, Italy.

201 Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050: By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? Paper presented at the FAO Expert Meeting, June 24-26, 2009, Rome on ‹How to Feed the World in 2050.› Food and Agriculture Organization of the United Nations, Economic and Social Development Department, Rome, Italy.

202 Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. 2006. Op. cit.

203 Bäse, F., Elsenbeer, H., Neill, C., and Krusche, A.V. 2012. Differences in throughfall and net precipitation between soybean and transitional tropical forest in the southern Amazon, Brazil. Agriculture, Ecosystems and Environment **159**: 19-28.

204 Pengue, W. 2005. Transgenic crops in Argentina: The ecological and social debt. Bulletin of Science, Technology and Society **25**: 314-322.

205 Gheewala, S.H., Silalertruksa, T., Nilsalab, P., Mungkung, R., Perret, S.R., et al. 2014. Water footprint and impact of water consumption for food, feed, fuel crops production in Thailand. Water **6** (6): 1698-1718.

206 Biancalani R. and Avagyan, A. 2014. Op. cit.

207 Mehta, L., Veldwisch, G.J., and Franco, J. 2012. Introduction to the Special Issue: Water grabbing? Focus on the (re) appropriation of finite water resources. Water Alternatives **5** (2): 193-207.

208 Carr, J.A., D'Odorco, P., Laio, F., and Ridolfi, L. 2013. Recent history and geography of virtual water trade. PLoS One **8** (2): e55825.

209 Barlow, M. and Clarke, T. 2002. Blue Gold: The battle against corporate theft of the world's water. Earthscan, London.

210 De Sherbinin, A. and Dompka, V. (eds.) 1998. Water and Population Dynamics: Case studies and policy implications. American Association for the Advancement of Science, New York.

211 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2015. Op. cit.

212 Satterthwaite, D. 2014. Cities of more than 500,000 people, Visualisation. International Institute for Environment and Development, London. http://www.iied.org/cities-interactive-data-visual

213 Currie, E.L.S., Fernández, J.F., Kim, J. and Kaviti Musango, J. 2015. Towards urban resource flow estimates in data scarce environments: The case of African cities. Journal of Environmental Protection **6**: 1066-1083.

214 Information from the Ramsar Secretariat.

215 http://www.monavalevlei.com/, accessed February 1, 2015.

216 Gosling, S.N. and Arnell, N.W. 2016. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. Climatic Change **134**: 371. doi:10.1007/s10584-013-0853-x.

217 IPCC. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.

218 Gleik, P. 2003. Global freshwater resources: Soft path solutions for the 21st century, Science **302**: 1524-1528.

219 Hoff, H. 2011. Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm Environment Institute, Stockholm.

220 Van Beek, E. and Lincklaen Arriens, W. 2014. Water Security: Putting the concept into practice. TEC Background Papers number 20. Global Water Partnership, Stockholm.

221 Grigg, N.S. 2008. Integrated water resources management: Balancing views and improving practice. Water International **33** (3): 279-292. DOI:10.1080/02508060802272820.

222 Schaible, G.D. and Aillery, M.P. 2012. Water Conservation in Irrigated Agriculture: Trends and Challenges in the Face of Emerging Demands, EIB-99, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.

223 Brauman, K.A., Siebert, S., and Foley, J.A. 2013. Improvements in crop water productivity increase water sustainability and food security – a global analysis. Environmental Research Letters **8**: doi:10.1088/1748-9326/8/2/024030.

243 Bossio, D., Geheb, K., and Critchley, W. 2010. Managing water by managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods. Agricultural Water Management **97**: 536-542.

244 Noguiera, D. 2008. http://genderandwater.org/en/gwa-products/knowledge-on-gender-and-water/articles-in-source-bulletin/brazil-rainwater-harvesting-in-semi-arid-region-helps-women-1/brazil-rainwater-harvesting-in-semi-arid-region-helps-women.

245 Song, X., Ravesteijn, W., Frostell, B., and Wennersten, R. 2010. Managing water resources for sustainable development: The case of integrated river basin management in China. Water Science and Technology, **61**: 499-506.

246 Tortajada, C. 2014. Water infrastructure as an essential element for human development. International Journal for Water Resources Development **30** (1): 8-19.

247 Krchnak, K.M., Smith, D.M., and Deutz, A. 2011. Investing in Natural Infrastructure to advance water-energy-food security. IUCN and The Nature Conservancy, Gland, Switzerland and Washington, DC.

248 Benedict, M.A. and McMahon, E.T. 2006. Green Infrastructure: Smart cities for the 21st century. Sprawl Watch Clearinghouse Monograph Series. The Conservation Foundation, Washington, DC.

249 Gartner, T., Mulligan, J., Schmidt, R., and Gunn, J. 2013. Natural Infrastructure: Investing in forested landscapes for source water protection in the United States. World Resources Institute, Washington, DC.

250 Vörösmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., et al. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. Nature **467**: Pages:

555-561.

251 Aylward, B. 2000. Economic Analysis of Land-use Change in a Watershed Context presented at a UNESCO Symposium on Forest-Water-People in the Humid Tropics, Kuala Lumpur, Malaysia, July 31 –August 4, 2000.

252 Bruijnzeel, L.A. and Hamilton, L.S. 2000. Decision Time for Cloud Forests, IHP Humid Tropics Programme Series no. 13, IHP-UNESCO, Paris.

253 Turner, R.K., Georgiou, S., and Fisher, B. (eds.) 2008. Valuing Ecosystem Services: The case of multifunctional wetlands, Earthscan, Oxford.

254 Naughton-Treves, L., Buck Holland, M., and Brandon, K. 2005. The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. Annual Review of Environmental Resources **30**: 219-252.

255 Abell, R., Allan, J.D., and Lehner, B. 2007. Unlocking the potential of protected areas for freshwaters. Biological Conservation **134**: 48-63.

256 Juffe-Bignoli, D., Harrison, I., Butchart, S.H.M., Flitcroft, R., Hermoso, V., et al. 2016. Achieving Aichi Biodiversity Target 11 to improve the performance of protected areas and conserve freshwater biodiversity. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems **26** (Supplement 1): 133-151.

257 Saunders, D.L., Meeuwig, J.J., and Vincent, A.C.J. 2002. Freshwater protected areas: Strategies for conservation. Conservation Biology **16** (1): 30-41.

258 World Bank. 2010. Convenient Solutions to an Inconvenient Truth: Ecosystem-based approaches to climate change, The World Bank, Washington, DC.

259 Collins, B.R. and Russell, E.W.B. (eds.) 1988. Protecting the New Jersey Pinelands: A New Direction in Land Use Management, New Brunswick and London: Rutgers University Press.

260 Peel M., Watson, F., Vertessy, R., Lau, A., Watson, I., et al. 2000. Predicting the Water Yield Impacts of Forest Disturbance in the Maroondah and Thomson Catchments using the Macaque Model Technical Report, Report 00/14, December 2000, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology and Melbourne Water, Australia.

261 Gorenflo, L.J. and Warner, D.B. 2016. Integrating biodiversity conservation and water development: In search of long-term solutions. WIRES Water **3** (3): 301-311.

262 Dudley, N., Buyck, C., Furuta, N., Pedrot, C., Renaud, F., et al. 2015. Protected Areas as Tools for Disaster Risk Reduction. A handbook for practitioners. IUCN and Ministry of Environment Japan, Gland, Switzerland and Tokyo.

263 Joosten, H., Tapio-Biström, M.L., and Tol, S. (eds.) 2012. Peatlands – guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use: Second edition. FAO and Wetlands International, Rome.

264 Dudley, N. and Stolton, S. 2003. Op. cit.

265 Reid, W.V. 2001. Capturing the value of ecosystem services to protect biodiversity. In: Chichilenisky, G., Daily, G.C., Ehrlich, P., Heal, G., and Miller, J.S. (eds.) Managing human-dominated ecosystems. Monographs in Systematic Botany 84, Missouri Botanical Garden Press, St Louis.

266 Stolton, S. and Dudley, N. (eds.) 2010. Arguments for Protected Areas. Earthscan, London.

267 Johnson, N., White, A., and Perrot-Maître, D. 2002. Developing markets for water services from forests: Issues and lessons for innovators. Forest Trends, USA.

268 Dudley, N. and Stolton, S. 2003. Op. cit.

269 Hamilton, L. 2008. Forests and water, FAO Forestry paper 155. FAO, Rome.

270 Stavins, R.N. 2002. Experience with market-based environmental policy instruments, Nota di Lavoro, Fondazione Eni Enrico Mattei, No. 52.2002.

271 McDonald, R.I. and Shemie, D. 2014. Urban Water Blueprint: Mapping conservation solutions to the global water challenge. The Nature Conservancy, Washington, DC.

272 Addy, S., Cooksley, S., Dodd, N., Waylen, K., Stockan, J., et al. 2016. River Restoration and Biodiversity: Nature-Based Solutions for Restoring the Rivers of the UK and Republic of Ireland. IUCN National Committee for the UK.

273 van Wesenbeeck, B.K., Balke T., van Eijk P., Tonneijck, F., Siry, H.Y., et al. 2015. Aquaculture induced erosion of tropical coastlines throws coastal communities back into poverty. Ocean and Coastal Management **116**: 466-469.

274 Information from a protected area management effectiveness tracking tool assessment, carried out for the Zoological Society of London, September 2015.

275 Saurí, D. 2013. Water conservation: Theory and evidence in urban areas of the developed world. Annual Review of Environment and Resources **38**: 227-248.

276 Saurí, D. 2013. Op. cit.

277 Government on water scarcity and drought 2015. South African Government. http://www.gov.za/speeches/government-water-scarcity-and-drought-13-nov-2015-0000

278 Hassan R. and Crafford J. 2006. Environmental and economic accounts for water in South Africa. Edward Elgar Publishing, UK. 114-168.

279 McKinney, D., Cai, X., Rosegrant, M., Ringler, C., and Scott, C. 1999. Modelling water resources management at the basin level: Review and future directions. International Water Management Institute, Sri Lanka.