

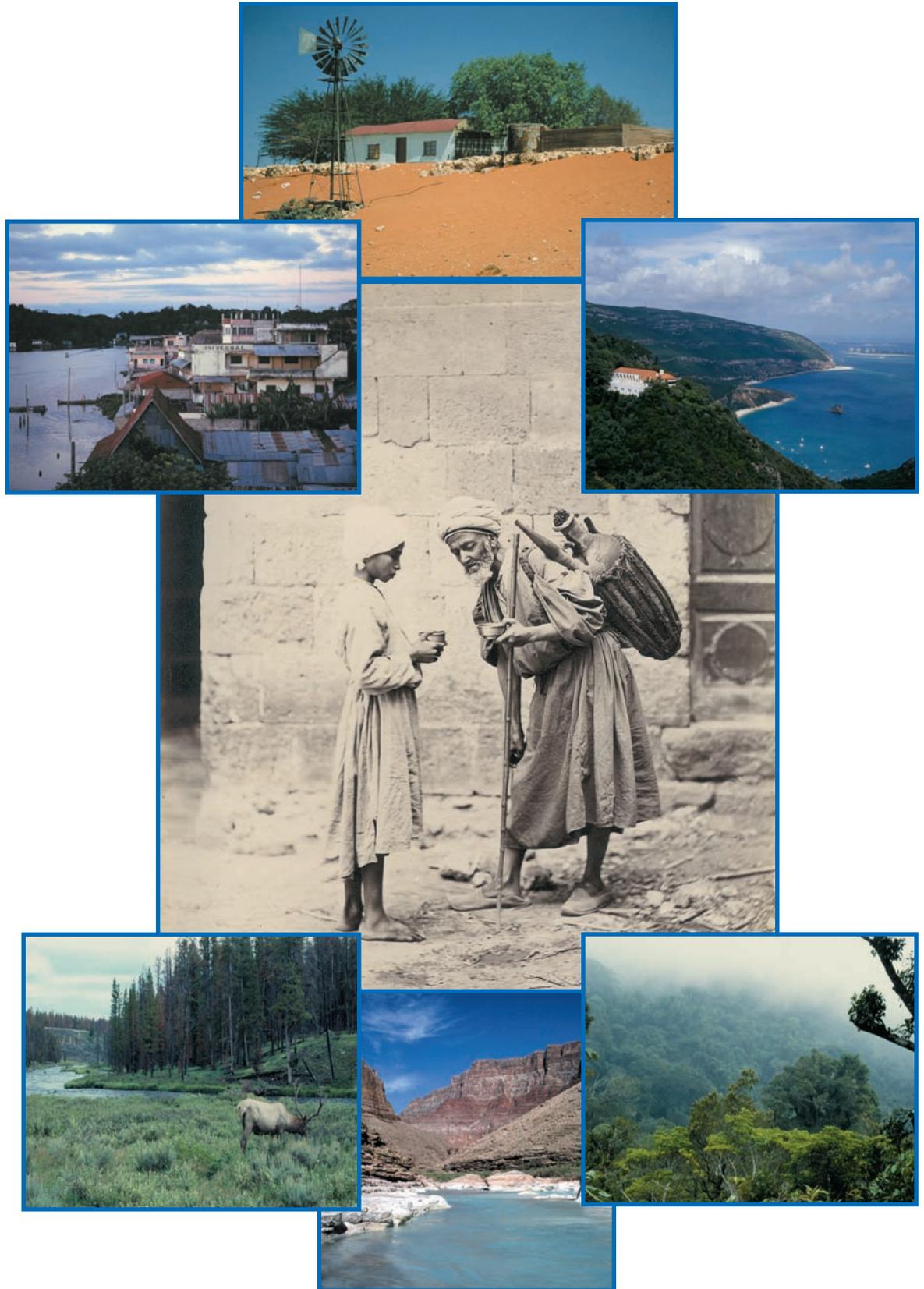
Tópicos en Ecología

Traducción al español de *Issues in Ecology*

Publicado por la Ecological Society of America (la Sociedad Norteamericana de Ecológica)

Numero 9, Primavera 2001

Agua en un mundo cambiante



Agua en un mundo cambiante

TITULO ORIGINAL Water in a Changing World

RESUMEN

La vida en el suelo, en los lagos, en los ríos y otros hábitat de agua dulce del mundo depende vitalmente del agua dulce renovable, un recurso que comprende sólo una pequeña fracción de las reservas de agua globales. Los humanos dependemos del agua dulce renovable para beber, regar cultivos y para usos industriales, así como para la producción de peces y aves acuáticas, transporte, recreación y disposición de desechos.

En muchas regiones del mundo, la cantidad y calidad de agua disponible para satisfacer las necesidades humanas es limitada. La brecha entre el suministro de agua y la demanda aumentará en el transcurso del próximo siglo como resultado del cambio climático y el incremento en el consumo de agua por la población en aumento. En los próximos treinta años, por ejemplo, es improbable que la esorrentía accesible de agua dulce aumente más del 10%, sin embargo se espera que la población mundial crezca una tercera parte. A menos que los humanos utilicen el agua de modo más eficiente, los impactos de este desequilibrio entre el suministro y la demanda disminuirán los servicios provistos por los ecosistemas de agua dulce, aumentarán el número de especies acuáticas que se enfrenten con la extinción, y se fragmentarán aún más los humedales, los ríos, los deltas y los estuarios.

Con base en la evidencia científica actualmente disponible, concluimos que:

- Más de la mitad de las esorrentías de agua dulce accesible del mundo ya está apropiada para uso humano.
- Más de mil millones de personas actualmente no tienen acceso a agua limpia para beber, y casi tres mil millones carecen de servicios sanitarios.
- Debido a que la población humana crecerá más rápido que cualquier aumento en suministros accesibles de agua dulce, la cantidad de agua disponible por persona disminuirá en el siglo que viene.
- El cambio climático intensificará el ciclo del agua en el planeta durante el siguiente siglo, aumentando la lluvia, las tasas de evaporación, y la ocurrencia de tormentas en general y alterando de modo significativo los ciclos de nutrientes en los ecosistemas terrestres que influyen la calidad del agua.
- Al menos el 90% de los flujos de los ríos en los Estados Unidos de Norteamérica están dramáticamente afectados por embalses, reservorios, desviaciones entre cuencas y extracciones para riego de cultivos que fragmentan los cauces naturales.
- De modo global, un 20% de las especies de peces de agua dulce están amenazadas o extintas, y las especies de agua dulce representan el 47% de los animales en peligro en listas federales de los Estados Unidos de Norteamérica.

La demanda creciente sobre los recursos de agua dulce está creando la necesidad urgente de vincular la investigación con el mejoramiento del manejo de agua, una necesidad que ya ha resultado en un número de políticas exitosas sobre el agua.

Un mejor monitoreo, evaluación y previsión de los recursos hídricos ayudarían a las agencias de gobierno a asignar de manera más eficiente el agua a los distintos usos y demandas. Actualmente, en los Estados Unidos de Norteamérica, al menos seis departamentos federales y veinte agencias gubernamentales comparten responsabilidades sobre varios aspectos del ciclo del agua. Creemos que tanto la creación de una comisión única formada con miembros provenientes de cada departamento como la supervisión por una agencia central, son acciones necesarias para desarrollar un plan nacional bien coordinado que reconozca las demandas apremiantes sobre los sistemas de agua dulce y asegure el uso eficiente y la distribución equitativa de estos recursos.

Fotos de la Portada: en sentido horario, desde arriba a la izquierda, cortesía de: Granja, Desierto Kalahari de Sudáfrica (R. Jackson); Zona Costera de Serra da Arrabida, Portugal (R. Jackson); "El Vendedor de Agua" (H. Bechard, Egipto 1870); Bosque de Nubes de Monteverde, Costa Rica (R. Jackson); Río Pequeño Colorado, Parque Nacional del Gran Cañón, EEUU (R. Jackson); Alces y zona riparia, Río Gardner del Parque Nacional de Yellowstone, EEUU (R. Jackson); y el pueblo de Flores, Guatemala (R. Jackson).

Agua en un mundo cambiante

por

Robert B. Jackson, Stephen R. Carpenter, Clifford N. Dahm,
Diane M. McKnight, Robert J. Naiman, Sandra L. Postel, y Steven W. Running

INTRODUCCIÓN

La vida en la tierra depende del flujo continuo de materiales a través del aire, agua, suelo y las redes alimenticias de la biosfera. El movimiento del agua mediante el ciclo hidrológico representa el más grande de estos flujos, proveyendo un estimado de 110,000 kilómetros cúbicos (Km³) de agua a la tierra cada año en forma de nieve y lluvia. La energía solar conduce el ciclo hidrológico, evaporando el agua de la superficie de los océanos, lagos y ríos así como de los suelos y las plantas (evapotranspiración). El vapor de agua se eleva hacia la atmósfera donde se enfría, se condensa y eventualmente cae de nuevo como lluvia. Este suministro renovable de agua dulce sostiene la vida en las tierras continentales, los estuarios y en los ecosistemas de agua dulce del planeta.

El agua dulce renovable provee de muchos servicios para el bienestar y la salud humana, incluyendo agua potable, producción industrial, irrigación y para la producción de peces, aves acuáticas y mariscos. El agua dulce también provee muchos beneficios mientras permanece en sus cauces (beneficios no extractivos o que se obtienen del agua dentro de los ríos), incluyendo control de inundaciones, transporte, recreación, procesamiento de desechos, energía hidroeléctrica y hábitat para plantas y animales acuáticos. Algunos beneficios, tales como riego

y energía hidroeléctrica, sólo pueden alcanzarse con represas, desvíos o generando otros cambios mayores a los flujos de agua naturales. Tales cambios frecuentemente disminuyen o impiden otros beneficios de los ríos, tales como brindar hábitat para la vida acuática o mantener una calidad de agua adecuada para uso humano.

Los beneficios ecológicos, sociales y económicos que los sistemas de agua dulce proveen, y el equilibrio de intereses entre los valores de consumo y los de los ríos, cambiarán dramáticamente en el siglo que viene. Ya en el siglo pasado, la cantidad de agua que los humanos sustrajeron en el mundo y el área bajo sistemas de riego crecieron exponencialmente (Figura 1). A pesar de este aumento en el consumo, las necesidades básicas de agua de muchas personas en el mundo no han sido satisfechas. Actualmente 1.1 miles de millones de personas no tiene de acceso a agua para beber segura, y 2.8 carecen de servicios sanitarios básicos. Estas carencias causan aproximadamente 250 millones de casos de enfermedades relacionadas con el agua y de cinco a diez millones de muertes cada año. Además, las necesidades actuales no satisfechas limitan nuestra habilidad para adaptarnos a cambios futuros en el suministro y distribución de agua. Muchos sistemas actuales diseñados para proveer agua en condiciones climáticas relativamente estables, podrían no estar bien preparados para adaptarse a cambios futuros en el clima, el consumo y la población. Mientras que la

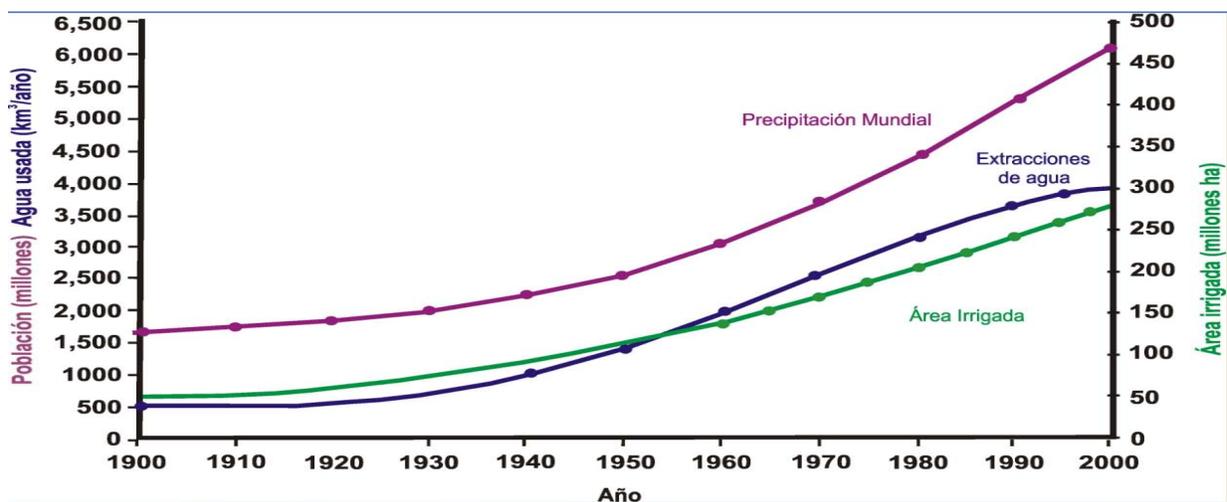


Figura 1. Datos globales de población humana, extracciones de agua, área de tierra irrigada desde 1900 a 2000. Tomado de Gleick (1998), versión regraficada y actualizada.

perspectiva global sobre la extracción de agua es importante para asegurar el uso sostenible del agua, esta visión es insuficiente para la estabilidad local y regional. La clave para el manejo sostenible del agua reside en la forma en la que se le maneja en grandes cuencas particulares y en sub-cuencas individuales.

El objetivo de este reporte es describir los aspectos clave de los cambios inducidos por el hombre al ciclo global del agua. Los efectos de la contaminación sobre la disponibilidad de agua y sobre los costos de purificación se han abordado previamente en otros *Issues in Ecology* (Tópicos en Ecología). En esta ocasión, nos enfocamos en los cambios actuales y potenciales en el ciclo del agua que son especialmente importantes para los procesos ecológicos. Empezamos por describir brevemente el ciclo del agua, incluyendo su estado actual y contexto histórico. En seguida analizamos la magnitud en la cual las actividades humanas actualmente alteran el ciclo del agua y podrían afectarlo en el futuro. Estos cambios incluyen acciones directas como construcción de embalses, e impactos indirectos tales como los que resultan del cambio climático propiciado por los humanos. Examinamos la apropiación humana del agua dulce de modo global, desde ambas fuentes renovables y no renovables. El reporte finaliza con la discusión de los cambios en el uso del agua que podrían ser especialmente importantes en el futuro. Resaltamos algunos progresos actuales y sugerimos prioridades de investigación, enfatizando ejemplos de los Estados Unidos de América.

EL CICLO GLOBAL DEL AGUA

Agua Superficial

La mayor parte del planeta está cubierta por agua, más de mil millones de Km^3 . Sin embargo, la mayor parte de esa agua, se encuentra en formas no disponibles para los ecosistemas terrestres o dulceacuícolas. Menos de un 3% es agua suficientemente dulce como para beber o regar campos de cultivos y, de ese total, más de dos tercios está retenida en glaciares y en los cascos polares. A escala global, el agua dulce de lagos y ríos asciende a los $100,000 \text{ Km}^3$, menos de un diez milésimo de toda el agua del planeta (Figura 2).

El vapor de agua en la atmósfera ejerce una influencia importante sobre el clima y el ciclo de agua, aunque sólo

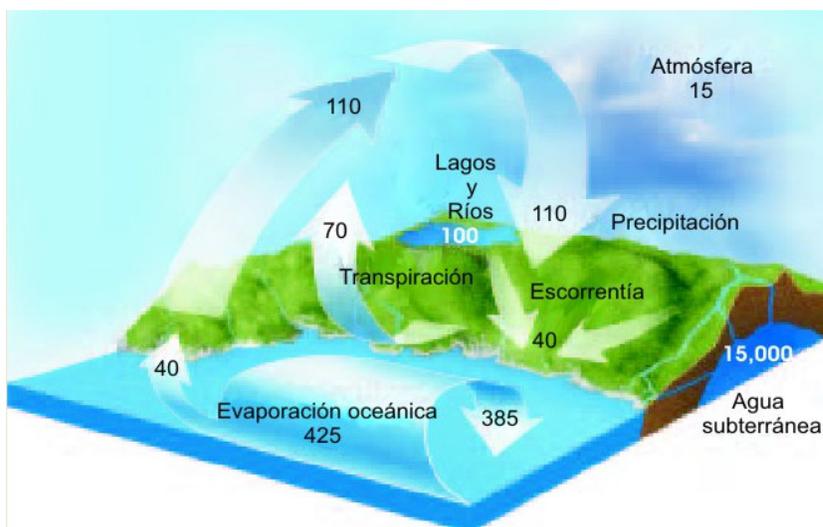


Figura 2. El ciclo de agua renovable en unidades de 10^3 Km^3 y $10^3 \text{ Km}^3/\text{año}$ para los almacenes (las reservas) (números blancos) y los flujos (números negros). La precipitación total sobre la tierra es de cerca de $110,000 \text{ Km}^3/\text{año}$. Aproximadamente dos terceras partes de esta precipitación es agua reciclada de plantas y del suelo (evapotranspiración = $70,000 \text{ Km}^3/\text{año}$) mientras que una tercera parte es agua que se evapora desde los océanos y que es transportada sobre la tierra ($40,000 \text{ Km}^3/\text{año}$). El agua subterránea retiene cerca de $15,000,000 \text{ Km}^3$ de agua dulce, mucha de ésta es “agua fósil” que no se intercambia activamente con la superficie del planeta.

$15,000 \text{ Km}^3$ de agua están retenidos en un momento dado en la atmósfera. Sin embargo, esta diminuta fracción es vital para la biosfera. El vapor de agua es el más importante de los llamados gases de invernadero (los otros son dióxido de carbono, óxido nítrico y metano) que calientan la tierra atrapando calor en la atmósfera. El vapor de agua contribuye aproximadamente con dos tercios del calentamiento total que es proporcionado por los gases de invernadero. Sin estos gases, la temperatura media de la superficie terrestre estaría debajo de cero y el agua líquida estaría ausente en una buena parte del planeta. Igualmente importante para la vida, es el recambio del agua atmosférica que ocurre aproximadamente cada diez días, cuando el vapor de agua se condensa y llueve sobre la tierra y el calor del sol evapora nuevos suministros de vapor desde los reservorios líquidos del planeta.

La energía solar típicamente evapora cerca de $425,000 \text{ Km}^3$ de agua del océano cada año. La mayor parte de esta agua regresa como lluvia a los océanos, pero aproximadamente 10% cae sobre los continentes. Si esta agua fuese la única fuente de lluvia, la precipitación media de las superficies de tierra en el planeta sería sólo de 25 centímetros (cm) anuales, un valor típico de desiertos y regiones semiáridas. En cambio, una segunda y más grande fuente de agua se recicla desde las plantas y el suelo a través de la evapotranspiración. El vapor de

agua desde esta fuente crea una retroalimentación directa entre la superficie de tierra y el clima regional. El reciclado de otros materiales tales como carbono y nitrógeno (reciclado biogeoquímico) está fuertemente acoplado al flujo de agua de la evapotranspiración a través de crecimiento de plantas y descomposición microbiana, lo cual crea una retroalimentación adicional entre la vegetación y el clima. Esta segunda fuente de agua reciclada contribuye con dos terceras partes del los 70 cm de precipitación que caen sobre los continentes cada año. Tomadas juntas, estas dos fuentes explican los 110,000 Km³ de agua renovable disponible cada año para los ecosistemas terrestres, dulceacuícolas y estuarinos (Figura 2).

Debido a que la cantidad de lluvia que cae sobre la tierra es mayor que la cantidad de agua que se evapora de ella, los 40,000 Km³ extra de agua retornan a los océanos, principalmente a través de los ríos y acuíferos subterráneos. Varios factores afectan la cantidad de esta agua que queda disponible para uso humano durante su jornada hacia los océanos. Estos factores incluyen si la precipitación cae como lluvia o como nieve, el tiempo de la precipitación en relación con los patrones de temperatura estacionales y luz solar y la topografía regional. Por ejemplo, en muchas regiones montañosas, la mayor parte de la precipitación cae como nieve durante el invierno, y la nieve que se derrite en la primavera causa flujos pico que inundan la mayor parte de los sistemas de ríos. En algunas regiones tropicales los monzones, y no la nieve fundida, causan inundaciones estacionales. En otras regiones más, el exceso de precipitación percola en el suelo para recargar las aguas subterráneas o es almacenado en humedales. La amplia pérdida de humedales y planicies inundables, reduce su habilidad de absorber los flujos altos y acelera el escurrimiento del exceso de nutrientes y contaminantes hacia los estuarios y otros ambientes costeros. Más de la mitad de todos los humedales de los Estados Unidos de América ya han sido drenados, dragados, rellenados o plantados.

El agua disponible no está distribuida de manera uniforme a escala global. Los trópicos (entre los 30 grados latitud N y 30 grados latitud S) reciben dos terceras partes de toda la precipitación debido a la gran radiación solar y evaporación que ahí ocurre. La

evaporación diaria de los océanos se ubica entre los 0.4 cm en el ecuador y menos de 0.1 cm en los polos. Típicamente, las regiones tropicales tienen una escorrentía mayor. A *grosso modo*, la mitad de la precipitación que cae en las selvas lluviosas se transforma en escurrimiento mientras que en los desiertos, las tasas de lluvias bajas y de evaporación altas se combinan para reducir la escorrentía enormemente. El Río Amazonas, por ejemplo, transporta el 15 % de toda el agua que regresa a los océanos. En contraste el drenaje del Río Colorado, que es una décima parte el tamaño del Río Amazonas, tiene una escorrentía anual 300 veces menor. Una variación similar ocurre a escala continental. La escorrentía promedio en Australia es de sólo 4 cm anuales, ocho veces menor que América del Norte y menor por órdenes de magnitud que América del Sur. Como resultado de estas y otras disparidades, el agua dulce disponible varía dramáticamente alrededor del mundo.

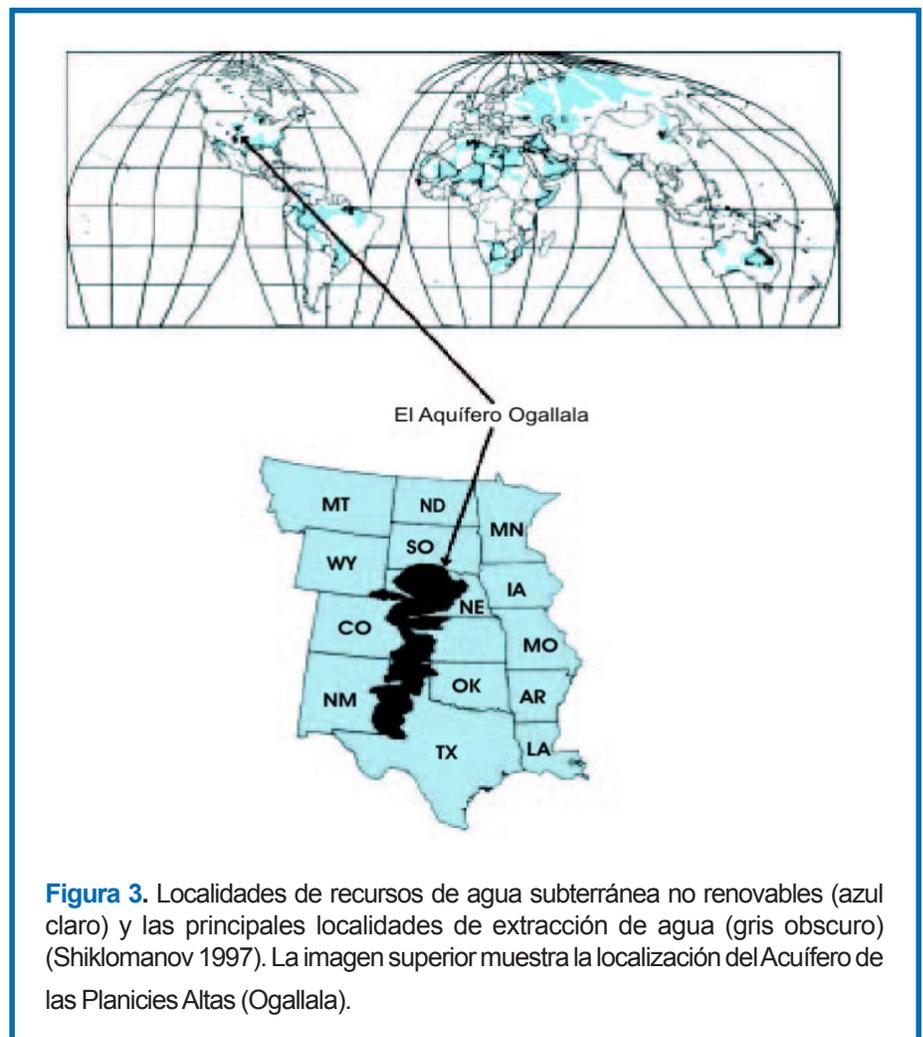


Figura 3. Localidades de recursos de agua subterránea no renovables (azul claro) y las principales localidades de extracción de agua (gris oscuro) (Shiklomanov 1997). La imagen superior muestra la localización del Acuífero de las Planicies Altas (Ogallala).

Agua Subterránea

Aproximadamente el 99% de toda el agua dulce líquida está en los acuíferos subterráneos (Figura 2) y al menos una cuarta parte de la población del mundo extrae su agua de estos suministros. Las estimaciones del ciclo global del agua generalmente tratan a las tasas de flujos de entrada y salida de agua subterránea como si estuvieran en balance. Sin embargo, en realidad este recurso está siendo agotado de modo global. El agua subterránea de modo típico, se recambia más lentamente que otras reservas de agua, frecuentemente en cientos o decenas de miles de años, aunque la variación en las tasas de recambio es grande. Ciertamente, la mayoría del agua subterránea no se recambia o recarga del todo desde la superficie de la tierra. En vez de esto, el agua subterránea existente es "agua fósil" un relicto de las condiciones climáticas más húmedas de la antigüedad y de la fundición de las láminas de hielo del Pleistoceno que se acumuló durante decenas de miles de años. Una vez usadas, no pueden ser fácilmente reabastecidas.

La distinción entre el agua subterránea renovable y no renovable es crítica para las políticas y manejo del agua. Más de tres cuartas partes del agua subterránea no es renovable, lo cual significa que tiene un periodo de reabastecimiento de siglos o mayor (Figura 3). Las Planicies Altas o el acuífero Ogallala, que subyace en una extensión de medio millón de Km² en el centro de los Estados Unidos de América, es discutiblemente el acuífero más grande en el mundo. La disponibilidad de bombas de turbina y la energía relativamente barata ha impulsado la excavación de cerca de 200,000 pozos en el acuífero desde 1940, haciendo de Ogallala la fuente de agua primaria de un quinto de las granjas irrigadas de Estados Unidos de Norteamérica. La extensión de los cultivos bajo riego en la región alcanzó su máximo en 1980 con 5.6 millones de hectáreas y una tasa de extracción de cerca de 6 trillones de galones de agua anuales. Esto ha declinado un poco desde entonces debido a la disminución y a los cambios socioeconómicos en la región. Sin embargo, el espesor promedio de Ogallala disminuyó más de un cinco % a través de una quinta parte de su área únicamente en los años 80's.

En contraste, los acuíferos renovables dependen de la lluvia actual para reabastecerse y por tanto son vulnerables a los cambios en la cantidad y calidad del agua de recarga. Por ejemplo, el agua subterránea extraída del acuífero Edwards, que suministra gran parte de Texas con agua potable, ha aumentado cuatro veces desde 1930 y ahora a veces excede su tasas de recarga anual. El aumento de la extracción de agua hace a los acuíferos más susceptibles a la sequía y otros cambios en el clima y a la contaminación por desechos y otros contaminantes que se percolan hacia el agua subterránea. El agotamiento

del agua subterránea puede causar también el hundimiento del suelo y la compactación de arena porosa, grava o roca en el acuífero, reduciendo de manera permanente su capacidad para almacenar agua. El Valle Central de California ha perdido alrededor de 25 Km³ de este modo, una capacidad que equivale a más del 40% de toda la capacidad de reservorios hechos por el hombre en ese estado.

Usualmente, el agua subterránea renovable y las aguas superficiales se han considerado por separado, tanto científica como legalmente. Sin embargo, esta visión está cambiando a medida que los estudios sobre arroyos, ríos, reservorios, humedales y estuarios muestran la importancia de la interacción entre el agua superficial renovable y el agua subterránea para el suministro y la calidad del agua y los hábitat acuáticos. Donde la extracción del agua subterránea excede las tasas de recarga, el resultado es un descenso en los niveles de los mantos freáticos. En el verano, cuando se requieren niveles altos en los mantos freáticos para mantener el flujo mínimo de agua en arroyos y ríos, niveles bajos de agua subterránea pueden disminuir las tasas de los flujos de base y reducir el hábitat de los arroyos perennes, aumentar las temperaturas de verano y deteriorar la calidad del agua. Las especies de trucha y salmón seleccionan áreas de surgencia de aguas subterráneas en los arroyos, para moderar las temperaturas estacionales extremas y para proteger a sus huevos del sobrecalentamiento o la congelación. El intercambio dinámico entre las aguas superficiales y las subterráneas altera el oxígeno disuelto y las concentraciones de nutrientes en los riachuelos y diluye concentraciones de contaminantes disueltos tales como pesticidas y compuestos orgánicos volátiles. Debido a tales interrelaciones, las modificaciones que el hombre realiza, ya sea del agua superficial o subterránea, frecuentemente afectan la cantidad y calidad de la otra.

Las interrelaciones entre las aguas superficiales y las subterráneas son especialmente importantes en las regiones con precipitación baja (ver Recuadro 1, Cuadro 1 y Figura 4). Las regiones áridas y semiáridas cubren una tercera parte de la superficie de tierra del planeta y sostienen la quinta parte de la población global. En estas regiones, las cuales poseen los acuíferos más grandes del mundo, el agua subterránea es la fuente primaria de agua para beber y para riego. La recarga limitada hace que estos acuíferos sean altamente susceptibles al agotamiento. Por ejemplo, el aprovechamiento del Acuífero de la Cuenca del Norte del Sahara en los años 90 era casi del doble de su recarga, y muchos manantiales asociados a este acuífero se están secando irreversiblemente. Para fuentes de agua no renovables, la discusión sobre tasas de extracción sostenible o apropiada es muy difícil. Al igual que con los depósitos de carbón y de petróleo, casi

Recuadro 1: Un caso de estudio: la sección media del Río Grande

Las demandas de agua crecientes crean conflictos potenciales entre las necesidades humanas y las de los ecosistemas nativos. Quizá en ningún lugar los impactos del hombre sean tan fuertes sobre ríos y planicies de inundación como en las regiones áridas y semiáridas del mundo. La cuenca de la sección media del Río Grande del centro de Nuevo México es un área de crecimiento rápido que mantiene a más de la mitad de la población del estado. El deseo de equilibrar las necesidades de agua ha conducido al desarrollo de un cuidadoso balance hídrico para la cuenca (Cuadro 1), que resalta la variabilidad anual, la incertidumbre de las mediciones, y los conflictos entre las demandas de agua para la región. El objetivo del balance de agua es ayudar a diseñar una política sostenible sobre el agua.

El manejo del agua ha alterado ya fuertemente este ecosistema de planicies de inundación (Figura 4). Las represas y diques a lo largo de los cauces de los ríos previenen las inundaciones de primavera. Las zonas riparias, limitadas ahora por un sistema de malecones, alguna vez hospedaron un mosaico de alamedas (sitios poblados de álamos y sauzales, praderas, humedales someros con vegetación herbácea (v. gr. praderas y tífales), y estanques. La última inundación más grande ocurrió en 1942, de extensión considerable de álamos, y en la mayoría de las áreas con alamedas, éstas están disminuyendo. La invasión de árboles no nativos de raíces profundas como tarajes (*Tamarix sp.*) y árboles del paraíso (*Eleagnus angustifolia*), ha alterado dramáticamente la composición forestal riparia. Sin cambios en el manejo del agua, las especies exóticas probablemente dominarán las zonas riparias dentro de medio siglo.

El balance de agua de la sección media del Río Grande refleja cambios recientes en su hidrología, la ecología de los riparios y la extracción de agua. La estimación de las principales disminuciones de agua en la cuenca es crítico para manejar su agua. Las principales disminuciones incluyen usos urbano, de riego, transpiración vegetal, evaporación desde los espejos de agua y recargas de acuíferos. La pérdida mayor es la evaporación desde los espejos de agua, que comprende una tercera parte del total. Esta pérdida es grande comparada con los valores anteriores a las represas – la sola evaporación directa del reservorio Elephant Butte va de los 50 a los 280 millones

Fuente de agua	Suministro (10 ⁶ m ³ /año)
Caudal promedio en Otowi	1360
Desviación desde San Juan Chama	70
Usos de agua	Disminuciones (10 ⁶ m ³ /año)
Evaporación proveniente de los espejos de agua	270
Transpiración de la vegetación	220

Cuadro 1. Fuentes y disminución promedio de agua entre 1972 y 1997 para la extensión de la sección media del Río Grande (los 64, 000 Km² entre la estación de aforo Otowi Norte de Santa Fe y la presa Elephant Butte). Los registros de caudal en la estación de aforo Otowi, la cual es el punto de entrada al segmento del cauce que comprende la sección media del Río Grande, tienen más de un siglo. El agua aportada por el proyecto de desviación del río San Juan Chama empezó en 1972 y aumentó el caudal registrado en la estación Otowi en 70 millones de m³/año (el caudal base sin esta agua era de cerca de 1400 millones de m³/año). Los principales sistemas de agua municipales en la cuenca actualmente extraen agua subterránea a una tasa de 85 millones de m³/año. Las disminuciones máximas aceptables para este segmento del cauce son de 500 millones de m³/año, cuando los flujos anuales ajustados exceden 1900 millones m³/año, disminuyendo progresivamente a 58 millones m³/año en años de severa sequía (cuando las entradas de flujo en la estación Otowi son de 120 millones de m³/año).

cualquier extracción no es sostenible. Una pregunta importante para la sociedad es a qué tasa debería permitirse el bombeo de agua subterránea, para qué propósito, y quién, si es que alguien, debe salvaguardar las necesidades de las generaciones futuras. En el Acuífero Ogallala, por ejemplo, el agua puede agotarse en muy poco tiempo, tanto como un siglo más.

APROPIACIÓN HUMANA DE LOS SUMINISTROS DE AGUA DULCE

Suministros Globales De Agua Renovables

El crecimiento global de la población y el consumo de agua impondrán una presión adicional sobre los recursos de agua dulce en el siglo venidero. Actualmente, el ciclo del agua hace disponible más agua de la que es

de metros cúbicos (m^3) por año, dependiendo del tamaño del reservorio y del clima. La segunda disminución más grande se debe a la transpiración de la vegetación riparia (135 a 340 millones de $m^3/año$). Esta estimación incluye una incertidumbre considerable debido a los efectos desconocidos de las descargas fluctuantes de los ríos sobre la transpiración y las diferencias en las tasas de transpiración de plantas nativas y no nativas. La agricultura de riego en la ección media del Río Grande explica un valor estimado del 20% de las disminuciones promedio anuales, donde los patrones de cultivo, el clima y la disponibilidad de agua contribuyen a las variaciones anuales. El consumo humano y la recarga neta del acuífero son similares y dan razón de un 20-25% de la disminución remanente en la Sección Media del Río Grande.

Las disminuciones anuales promedio son compensadas parcialmente por el agua que proviene del Proyecto San Juan Chama, los caudales desde tributarios dentro de la cuenca y la descarga de aguas residuales municipales. No obstante, las disminuciones de agua ya están completamente asumidas destinadas en un año hidrológico promedio. El uso municipal del agua del San Juan Chama, la sequía sostenida, y el crecimiento continuo de la población incrementarán la presión en los recursos de agua superficiales. Probablemente no habrá nueva agua disponible en el futuro cercano, así que la conservación del agua debe desempeñar un papel dominante.

Para diseñar una política sostenible de agua, es esencial contar con un balance de agua cuidadoso como el que se describió aquí. Para la sección media del Río grande, se necesitan mediciones precisas de largo plazo de los flujos superficiales, recarga neta del acuífero y los niveles de agua subterránea. Las operaciones de los reservorios, el control de las plantas exóticas, la planeación del uso del suelo, y la conservación del agua de agricultura y urbana desempeñarán una función importante en el futuro sostenible del agua en la región. Otras regiones áridas y semiáridas del mundo, donde el balance de la demandas diversas de agua será un reto importante y formidable, necesitan datos básicos similares así como una planeación cuidadosa del uso del agua.



Figura 4. Vegetación riparia contrastante en la sección media del Río Grande, extensión al Sur del Albuquerque, NM: sitio dominado por álamos (A) cerca de Los Lunas y sitio dominado por tarajés (B) en el Refugio Nacional de Vida Silvestre La Sevilleta. El manejo del agua, especialmente la construcción de represas y canalización de ríos, ha alterado enormemente este ecosistema de planicie inundable. La última inundación importante de un sitio con un establecimiento significativo de álamos fue en 1942. Las invasiones por plantas exóticas de raíces profundas tales como los tarajés, retratados aquí, y el árbol del paraíso han alterado enormemente la composición de los bosques riparios. Sin cambios en el manejo de agua, las especies riparias exóticas probablemente dominarán las zonas riparias en la sección media de la cuenca del Río Grande en los próximos cincuenta años.

necesaria para sostener a la población mundial de seis mil millones de personas (Cuadro 2). Sin embargo, la distribución geográfica y temporal de esta agua no está bien acoplada con las necesidades humanas. Los grandes flujos de los ríos de las cuencas del Amazonas y del Zaire-Congo y la serie de ríos subdesarrollados en las regiones de la tundra nórdica y la taiga de Eurasia y América del Norte, son muy inaccesibles para usos humanos y

probablemente así permanecerán en el futuro previsible. Juntos, estos ríos remotos constituyen cerca de una quinta parte de la escorrentía global total.

Aproximadamente la mitad del suministro agua global renovable corre rápidamente hacia el mar en inundaciones (Cuadro 2). En sistemas de ríos manejados de América del Norte y muchas otras regiones, manantiales producidos por la nieve fundida se capturan

en reservorios para uso posterior. En regiones tropicales, una porción substancial del escurrimiento anual ocurre durante las inundaciones monzónicas. En Asia por ejemplo, 80 % de la escorrentía ocurre entre mayo y octubre. A pesar de que esta agua de inundación provee de varios servicios ecológicos, como el mantenimiento de humedales, no es un suministro práctico para riego, industria y usos domésticos que requieren el suministro de agua en cantidades controladas a tiempos específicos. Por lo tanto, hay dos categorías de escorrentía accesibles para satisfacer las necesidades humanas de agua: (1) agua subterránea renovable y el flujo de base de los ríos y, (2) agua de inundación que es capturada y almacenada en reservorios.

El flujo de base de ríos y el agua subterránea forman el 27% de la escorrentía global anual. Mientras la tasa de extracción de agua no exceda el reabastecimiento por lluvia, estas fuentes pueden servir como un suministro sostenible. Desafortunadamente, en muchos lugares, incluidas muchas regiones agrícolas importantes, el agua subterránea se extrae en exceso de modo crónico. Datos de China, India, el Norte de África, Arabia Saudita, y los Estados Unidos de América indican que el agotamiento en cuencas clave suma un total de 160 Km³ anuales. El agotamiento de agua subterránea es particularmente serio en la India, y algunos expertos del agua han advertido que cerca de una cuarta parte de la cosecha de granos de la India puede ponerse en peligro debido a la extracción excesiva. El hecho de que las extracciones de agua subterránea permanezcan muy por debajo de la tasa de recarga global, no significa que el uso del agua subterránea en una región específica sea sostenible. Lo que importa es cómo se usa y maneja

el agua en cuencas particulares, y existen muchas regiones en el mundo donde la demanda actual supera el suministro.

Convertir el exceso de agua en suministros disponibles generalmente requiere la construcción de represas y reservorios para capturar, almacenar, y controlar el agua. En el mundo, hay 40,000 grandes represas con cortinas de más de 15 metros y 20 veces más represas con cortinas más pequeñas. Colectivamente, los reservorios del mundo pueden contener aproximadamente 6,600 Km³ de agua cada año. Sin embargo, mucho menos que esta cantidad se proporciona a granjas, industrias y ciudades, debido a que las represas y reservorios se usan también para generar electricidad, controlar inundaciones y mejorar la navegación de ríos.

Finalmente, después de restar el flujo de los ríos remotos del flujo global de base, y de descontar la capacidad de los reservorios designada para otros propósitos que el de suministrar agua, el total de escorrentía disponible para uso humano es de cerca de 12,500 Km³ por año, o 31% de la escorrentía total anual.

Uso Del Agua Por El Hombre

La gente usa el agua dulce para muchos propósitos. Hay tres grandes categorías de usos extractivos para los cuales la gente obtiene agua de sus cauces naturales o cuencas: riego de cultivos, actividades industriales y comerciales, y vida residencial. En muchos casos, el agua puede ser usada más de una vez después de que se ha extraído. El agua que se

ha usado pero no se ha consumido físicamente – *v. gr.* para lavar trastes – puede reutilizarse, aunque en algunos casos requiere de tratamiento. En contraste, cerca de la

Total de Escorrentía Global	40,700
Caudales Remotos	
Cuenca Del Amazonas	5,400
Cuenca Del Zaire-Congo	660
Ríos Remotos Del Norte	1,740
Total De Caudales Remotos Totales	7,800
Agua De Inundación No Capturada	20,400
Escorrentía Accesible	12,500
Extracciones Globales De Agua	
Agricultura	2,880
Industria	975
Municipios	300
Perdidas Por Embalses	275
Total Extracciones Globales	4,430
Usos En Los Rios	2,350
Total Por Apropiación Humana	6,780

Cuadro 2. Escorrentía global, extracciones, y apropiación humana del suministro de agua (Km³/año). Caudales remotos se refieren a los escurrimientos de ríos que son geográficamente inaccesibles, los estimados incluyen 95% de la escorrentía de la cuenca del Amazonas, 95% de los caudales de ríos remotos del norte de Norte América y de Eurasia y la mitad de la escorrentía de la cuenca del Zaire-Congo. La escorrentía estimada también incluye agua subterránea renovable. Se estima que el 18% (ó 2285 Km³/año) de la escorrentía accesible se consume; aunque, directa o indirectamente, los humanos usamos 6, 780 Km³/año o sea 54% de la escorrentía accesible. El agua extraída que no se consume no siempre se regresa al río o lago del que fue tomada. Tomado de Postel et. al. (1996), con datos adicionales de Czaya (1981), L'Vovich et al. (1990), y Shiklomanov (1997).

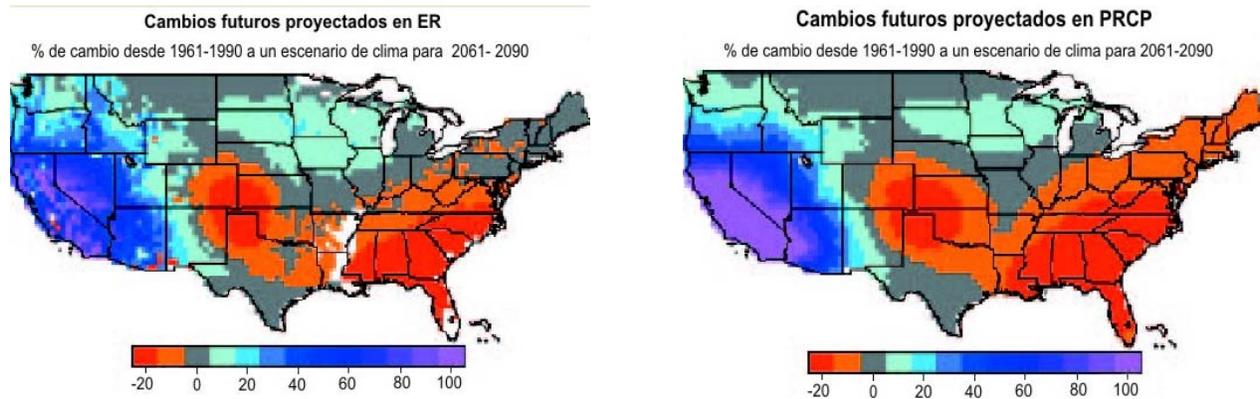


Figura 5. Proyección de cambios a futuro en la evapotranspiración real (ER) y la precipitación (PRCP) generada por el modelo de ecosistema BIOME-BGC, usando un escenario futuro para clima para el año 2100 derivado de un modelo de clima global. En este escenario, el dióxido de carbono atmosférico (CO_2) aumentó aproximadamente 0.5%/año, y el modelo de ecosistema respondió con cambios en el índice de área foliar (una medida de la productividad de las plantas) basada en cambios de CO_2 , clima, agua y disponibilidad de nitrógeno. En general, estas proyecciones sugieren una lluvia mayor y un incremento en el crecimiento de las plantas en el Oeste árido, lo que conduce a una ER más alta. La reducción de la lluvia y los efectos resultantes de la sequía sobre la vegetación son las causas primarias de la menor evapotranspiración proyectada para el Sudeste. Para información adicional ver el Recuadro 2 (Resultados de VEMAP II, cortesía de P. Thornton, del Numeric Terradynamic Simulation Group, Universidad de Montana).

mitad del agua desviada para riego es perdida a través de la evapotranspiración y no está disponible para su uso posterior.

Tasas excesivas de uso consuntivo del agua pueden tener efectos extremos sobre ecosistemas locales y regionales. En la Cuenca del Mar Aral, por ejemplo, las grandes desviaciones de ríos para riego han causado que el lago baje más de tres cuartos en volumen y quince metros en profundidad durante las pasadas cuatro décadas. La línea costera del Mar Aral se ha retraído 120 Km en algunos lugares, y una pesquería comercial que alguna vez produjo 45,000 toneladas anuales y empleó 60,000 personas ha desaparecido. La calidad del agua también ha decaído. La salinidad se triplicó entre 1960 y 1990, y el agua que queda ahora es más salada que la de los océanos.

Para propósitos de manejo de agua, la diferencia entre uso y consumo es importante. Las extracciones globales de agua (incluyendo las pérdidas por evaporación desde reservorios) ascienden a 4,430 Km^3 al año, y el 52 % de éstas se consume. El uso de agua o la extracción también modifican la calidad del agua remanente en una cuenca o en sus cauces debido al incremento de la concentración de los iones principales, nutrientes o contaminantes. Como lo mostró el ejemplo del Mar Aral, este efecto puede limitar la sostenibilidad del agua para uso futuro.

Además del agua removida de los sistemas naturales, las empresas humanas dependen fuertemente del agua que permanece en los canales naturales. Estos

usos del agua que permanece en los ríos incluyen la dilución de contaminantes, recreación, navegación, mantenimiento de estuarios saludables, el sostén de pesquerías, y la protección de la biodiversidad. Debido a que los usos dentro del río varían por región y estación del año, es difícil estimar su total global. Sin embargo, si la dilución de la contaminación se toma grosso modo como aproximación global, los usos del agua dentro de los ríos podrían ascender a 2,350 Km^3 al año, una estimación conservadora que no incorpora todos los usos del agua en los ríos.

Combinando esta estimación del uso del agua que permanece en los ríos con la estimación del agua extraída globalmente se alcanza el total de 6,780 Km^3 por año. Esto significa que los humanos actualmente nos estamos apropiando del 54% del escurrimiento de agua dulce accesible del planeta.

Las demandas globales de agua continúan creciendo con el incremento de la población humana y del consumo. Sin embargo, el aumento en la escorrentía accesible sólo puede alcanzarse construyendo presas o desalinizando agua de mar. Hoy día, la desalinización representa menos del 0.2% del uso global de agua y, debido a su alto requerimiento de energía, es probable que permanezca como una pequeña parte del suministro global en el futuro previsible. Las presas siguen colocando más agua bajo el control humano, pero el ritmo de construcción ha disminuido. En los países desarrollados, muchos de los mejores lugares ya se han utilizado. El aumento

de los costos económicos, ambientales y sociales – incluyendo, destrucción del hábitat, pérdida de la biodiversidad y desplazamiento de comunidades humanas – hacen más difícil continuar con la construcción de represas. Actualmente, cada año se suman cerca de 260 nuevas grandes represas en todo el mundo, comparado con las 1,000 anuales que se incorporaban a la cadena global de embalses entre los años 1950 y 1970. Más aun, al menos 180 represas en los Estados Unidos de América se removieron en la década pasada con base en evaluaciones de seguridad, impacto ambiental y por estar obsoletas. La destrucción de la represa Edwards sobre el Río Kennebec de Maine en 1999, marcó la primera vez que las autoridades federales dictaminaron que los beneficios ambientales al remover una represa sobrepasaban a los beneficios económicos de que ésta operara.

Como un resultado de estas y otras tendencias, la escorrentía accesible difícilmente aumentará más de un 5-10 % en los próximos 30 años. Durante el mismo periodo, está proyectado que la población del planeta crecerá aproximadamente un 35%. Las demandas sobre los sistemas de agua dulce continuarán creciendo a través del siglo venidero.

EL CICLO DEL AGUA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

En la actualidad, existe consenso científico en que la acumulación continua en la atmósfera de gases de invernadero generados por el hombre está calentando el planeta. La última década del siglo veinte fue la más caliente que se ha registrado, y los registros paleo climáticos indican que el calentamiento de los últimos 50 años no tiene equivalente en los pasados mil años. Mientras el planeta continúe calentándose en el próximo siglo, se espera que ocurra una intensificación general del ciclo del agua. En un clima más cálido, mayores volúmenes de agua se evaporarán desde las plantas, los suelos y los cuerpos de agua de manera global, elevando más vapor de agua a la atmósfera para precipitar de tal forma que, se incrementará la escorrentía y se generarán eventos hidrológicos extremos como inundaciones y sequías, que serán más comunes e intensos. Ya se han observado algunas disminuciones en la nieve y cobertura glacial. Los cambios en la temperatura y ciclo del agua afectarán necesariamente el crecimiento de las plantas y los procesos de descomposición en el suelo, incluyendo el ciclo del carbono, nitrógeno y otros nutrientes, cuyas concentraciones afectan la calidad del agua. Los cambios regionales y locales serán probablemente más variables y difíciles de predecir que los cambios globales. Muchas regiones, especialmente las templadas, experimentarán

veranos más secos debido a una mayor evaporación y, en algunos casos, disminuciones en las lluvias (Figura 5). Por ejemplo, casi todos los Modelos de Circulación General (MCG) del clima global predicen que la región sur de Europa recibirá menos lluvias en verano. En contraste, las regiones tropicales pueden experimentar pequeños cambios inducidos por calentamiento en el ciclo del agua. El nivel de incertidumbre que persiste en las predicciones climáticas a escalas regionales se ilustra por la amplia gama de escenarios futuros previstos para la humedad del suelo en el centro de los Estados Unidos – desde 75% más seco a 30% más húmedo en verano – mediante modelos usando diferentes supuestos y representaciones de procesos hídricos.

Los cambios futuros en el ciclo del agua que serán especialmente importantes para la disponibilidad de agua dulce incluyen la cantidad y el tiempo en el que ocurre la lluvia y los escurrimientos, las tasas de evapotranspiración de plantas y suelos y los incrementos en el nivel del mar. A medida que las temperaturas sean más calientes, la evaporación aumentará exponencialmente, por lo cual tanto, la evaporación de los océanos y, consecuentemente, las lluvias promedio globales deberían incrementarse conforme el planeta se calienta. Todos los MCG revisados en la evaluación más reciente del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático predicen incrementos en la precipitación para todo el planeta. De hecho, datos recientes indican que la precipitación promedio puede haberse ya incrementado ligeramente en regiones no tropicales. En los Estados Unidos y Canadá, la precipitación aumentó del 10 al 15% en los últimos cincuenta años, y el flujo de los ríos aumentó también significativamente durante este periodo, especialmente en la porción central oriental de los Estados Unidos. Los incrementos en la precipitación fueron más pequeños pero aún significativos para la antigua Unión Soviética (cerca del 10% en un siglo) y Escocia. Por el contrario, las regiones tropicales y áridas no muestran evidencia de incrementos en la precipitación, y probablemente se han estado secando poco a poco en décadas recientes.

Por supuesto que los pequeños incrementos en la precipitación promedio global, no incrementarán uniformemente la disponibilidad de agua dulce en todas las regiones. Los efectos regionales dependerán de complejos lazos de retroalimentación entre las plantas, los suelos y la atmósfera en un ambiente más cálido y más húmedo. Por ejemplo, aumentos de dióxido de carbono en la atmósfera pueden incrementar la eficiencia del uso del agua por las plantas, y ese efecto combinado con el aumento de la precipitación tendería a incrementar la disponibilidad de agua. Estos efectos podrían estar todavía más compensados por mayores tasas de evapotranspiración en climas más calientes. También,

puede esperarse que la superficie de la tierra se caliente mucho más rápido que la superficie del océano en el transcurso del próximo siglo (debido al movimiento del agua y la alta capacidad de calor relativo de los océanos, los cuales amortiguan los cambios en la temperatura), y esto incrementará la probabilidad de sequía sobre los continentes. Esta diferencia en las tasas de calentamiento puede intensificar también los gradientes de presión y los patrones de viento en regiones costeras, mejorando las condiciones de circulación de las aguas costeras.

Todo esto indica que los cambios en el ciclo del agua que acompañan el calentamiento climático serán percibidos de forma muy distinta de una región a otra.

En general, aunque algunas regiones templadas y polares recibirán probablemente más precipitación, otras regiones recibirán menos, y muchas más regiones tenderán a secarse, por el incremento en la demanda de evaporación durante la estación de crecimiento de las plantas.

Los cambios atmosféricos no serán las únicas fuerzas que conduzcan la evolución climática en el siguiente siglo. Los cambios en el uso del suelo propiciados por el hombre jugarán también un papel importante, ya que la naturaleza de la cubierta vegetal sobre el suelo afecta la tasa de evapotranspiración y también el albedo de la superficie, es decir, la cantidad de luz solar reflejada. Por tanto, actividades como la deforestación, reforestación e

Recuadro 2: Pronósticos de los Recursos Hídricos

Pronosticar nuestro futuro respecto al agua es importante para garantizar el suministro de agua, programar el riego y la generación de energía eléctrica, moderar las inundaciones y coordinar las actividades recreativas. Los pronósticos hidrológicos anticipan cambios futuros en la hidrología usando predicciones meteorológicas y condiciones hidrológicas actuales. Los pronósticos de las dinámicas hidrológicas están mejorando ahora que los datos de monitoreos regulares están disponibles de inmediato vía Internet. Los pronósticos actuales se realizan generalmente con 3 a 5 días de anticipación, pero las mejoras en la distribución de datos y los modelos hidrometeorológicos permitirán pronósticos de 1 a 6 meses en el futuro cercano.

Como un ejemplo del conjunto de bases de datos requeridos para un pronóstico de calidad, el radar Doppler se usa actualmente para mapear celdas de precipitación cada media hora, y la mayoría de datos de estaciones en ríos se reporta diariamente utilizando telemetría satelital y se envía al sitio Web de Medición Geológica de los EU. Las actualizaciones semanales de variables de superficie como cobertura de nieve y el Índice de Área foliar (una medida del verdor del paisaje) son posibles ahora de manera global con la última generación de satélites de observación terrestre. Varios modelos por computadora hacen uso de datos sobre observaciones del tiempo, lluvia, cubierta de nieve, topografía, suelos, cobertura vegetal, y flujos de corrientes para predecir tendencias en niveles y duración de la escorrentía en cuencas específicas. Nuevos modelos hidrometeorológicos pueden usar los datos diarios de ríos para calcular los niveles de escurrimientos esperados en ríos aguas abajo para los días siguientes. Debido a que la calidad del nuevo pronóstico climático de uno a seis meses mejora, debe ser posible realizar pronósticos hidrológicos más extensos. En grandes regiones, donde las actividades humanas como la extracción de agua para riego y la regulación de flujos de reservorios afectan la escorrentía, los modelos hidrológicos deben estar asociados con otros tipos de modelos que puedan tomar estos factores en cuenta.

Un tipo diferente de pronóstico del agua involucra analizar las respuestas hídricas a largo plazo para escenarios futuros de uso del suelo o cambios climáticos (Figura 5). Por ejemplo, los hidrólogos pueden predecir el incremento en la escorrentía e inundación potencial que podría ocurrir si se talan porciones de una cuenca; o los cambios en la sedimentación de los arroyos que ocurrirían con el incremento de los niveles de pastoreo en una cuenca. Las consecuencias para la calidad del agua y flujos que podrían seguir a partir de los incrementos en la urbanización o usos agrícolas de un paisaje pueden también ser previstos usando un conjunto de escenarios de población y cultivos. Para la predicción en décadas y siglos de los cambios en la disponibilidad de agua dulce, lo mejor a realizarse hoy en día, son proyecciones basadas en escenarios de cambio climático proporcionados por Modelos de Circulación General.

Los modelos hidroecológicos avanzados pueden también calcular aspectos críticos de calidad de agua, como temperaturas de las corrientes, concentraciones de oxígeno disuelto, cargas de nutrimentos y productividad de plantas acuáticas. La eutroficación de lagos y reservorios a menudo son predecibles a partir de datos de uso de suelo, flujos de agua y nutrimentos. Otras propiedades químicas que afectan el uso del agua, como pH y concentraciones de microcontaminantes, pueden ser previstos usando varios modelos prácticos y estadísticos. Los modelos están jugando también papeles cada vez más importantes en la predicción de impactos de las actividades humanas sobre ciclos de nutrimentos en el océano, pronosticando las existencias de peces, y estimando el potencial de invasión de los hábitat de agua dulce por especies exóticas.

incluso procesos de desertificación como invasión de arbustos en pastizales retroalimentarán también para afectar el clima y el ciclo del agua. A escalas regionales, la deforestación reduce la precipitación por la disminución del reciclaje de agua y el aumento del albedo. El incremento de sequía que le sigue al desmonte de árboles puede ser especialmente importante en bosques tropicales y sabanas, haciendo más difícil el reestablecimiento de árboles sobre suelo quemado o talado. Incrementos regionales en el riego podrían tener un efecto de retroalimentación opuesto, induciendo climas regionales más fríos y húmedos. La agricultura utiliza 81% de toda el agua consumida en los Estados Unidos, y mucha de esta agua se destina para riego de cultivos en regiones áridas donde las tasas de evaporación son altas, especialmente en el centro de las Grandes Llanuras y el Oeste. Los cambios en el uso del suelo tienen también impactos sobre el ciclo del agua a escalas más pequeñas. Los cambios como la deforestación, por ejemplo, pueden alterar significativamente la escorrentía y los rendimientos hídricos en cuencas individuales.

Cambios en el ciclo del agua que afectan la humedad del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el aumento de la salinidad, alterarán también el crecimiento de plantas, la productividad y la distribución de las especies. Además, la tasa de procesos microbianos en el suelo, que controla la acumulación de materia orgánica en el suelo y la liberación de nutrientes como nitrógeno, están fuertemente influenciados por la permanencia de la cubierta de nieve, heladas/ciclos de deshielo, y humedad del suelo. Recíprocamente, los cambios en el crecimiento de las plantas y las actividades microbiológicas conducidos por el clima y el agua influirán en los procesos biogeoquímicos que afectan la calidad del agua.

Cambios en la calidad y cantidad de agua también influyen los hábitat para la vida acuática. En los ecosistemas acuáticos, así como sobre los terrestres, la productividad de las plantas y el reciclado de nutrientes están influidos por la permanencia de la cobertura de hielo y nieve, y por los cambios estacionales del flujo de agua. Debido a que la escorrentía de ríos acarrea carbono, nitrógeno y otros nutrientes desde sistemas aguas arriba hacia aguas costeras, los incrementos en estos flujos pueden perjudicar las pesquerías costeras por el agotamiento de oxígeno, o amenazar aún la salud humana promoviendo el florecimiento de algas tóxicas.

En el siguiente siglo, el ciclo del agua también estará influenciado por el incremento del nivel del océano. Este nivel aumentó cerca de 8 cm en el siglo pasado y se pronostica que aumentará otros 30 a 50 cm en los próximos cien años. Este levantamiento podría empujar las costas tierra adentro 30 m en promedio, creando cambios dramáticos en sistemas costeros. Por ejemplo, el aumento

en el nivel del océano empeorará la intrusión de agua salina hacia acuíferos costeros de agua dulce, alterará la distribución e hidrología de humedales costeros y desplazará la agricultura en regiones costeras y deltas. Muchos acuíferos costeros que ya están siendo agotados por la agricultura y el suministro urbano de agua enfrentan una amenaza adicional debido a la contaminación por agua salina. Miami, Florida y el condado Orange en California, han invertido millones de dólares en décadas recientes inyectando agua superficial tratada al interior de sus acuíferos para mantener los niveles freáticos altos y repeler la intrusión de agua salina.

TEMAS PARA EL FUTURO

Problemas Emergentes E Implicaciones Para La Investigación

Los impactos causados por el hombre en la calidad y cantidad de agua dulce pueden amenazar la prosperidad económica, estabilidad social y la resiliencia de servicios ecológicos que los sistemas acuáticos proveen. Debido a que las sociedades y ecosistemas se vuelven cada vez más dependientes de los suministros de agua estáticos o disminuidos, existe un riesgo en el aumento de fallas severas en los sistemas sociales, incluyendo la posibilidad de conflictos armados por el agua, así como también transformaciones completas de los ecosistemas.

El aumento en la demanda de agua dulce puede romper conexiones ecológicas en los sistemas acuáticos, fragmentando ríos desde llanuras de inundación, deltas, y ambientes marinos costeros. Este aumento puede también cambiar la cantidad, calidad, y la duración del suministro de agua dulce, de los cuales los ecosistemas terrestres, acuáticos y estuarinos dependen.

El agua dulce es ya un recurso limitado en muchas partes del mundo. En el próximo siglo, será aún más limitado debido al aumento de población, urbanización y cambio climático. Esta limitación será causada no sólo por el aumento en la demanda por el agua, sino también por la contaminación en los ecosistemas de agua dulce. La contaminación disminuye el suministro de agua utilizable e incrementa el costo de su purificación. Algunos contaminantes, como el mercurio o compuestos orgánicos clorados, contaminan los recursos acuáticos y afectan el suministro alimenticio. Más de 8 mil millones de kilogramos de nitrógeno y 2 mil millones de kilogramos de fósforo son vertidos cada año en aguas superficiales en los Estados Unidos. Esta contaminación de nutrientes, combinada con la demanda humana por el agua, afecta la biodiversidad, el funcionamiento del ecosistema, y los servicios naturales de los sistemas acuáticos de los cuales depende la sociedad.

Prioridades Para Balancear Demandas Actuales Y Futuras De Suministro De Agua Dulce

- Promoción de una “reserva ambiental del agua” para asegurar que los ecosistemas reciban la cantidad, calidad y duración de los flujos necesarios para sostener sus funciones ecológicas y sus servicios a la sociedad†
- Reconocimiento legal del agua superficial y agua subterránea renovable como un solo recurso asociado.
- Mejoramiento del monitoreo, evaluación y pronóstico de la cantidad y calidad de agua para distribuir los recursos hídricos entre aquellas necesidades que deben ser satisfechas‡
- Protección de hábitat críticos como zonas de recarga de acuíferos y cuencas
- Una valoración más real de los suministros de agua y servicios ecosistémicos de agua dulce
- Incentivos económicos más fuertes para hacer más eficiente el uso del agua en todos los sectores de la economía
- Mejoramientos continuos referente a la eliminación de fuentes puntuales y no puntuales de contaminación
- Un plan nacional bien coordinado para manejar las diversas y crecientes presiones sobre los sistemas de agua dulce, y para establecer metas y prioridades de investigación en temas concernientes del agua.§

Cuadro 3. Algunas prioridades para balancear demandas actuales y futuras de (sobre el) suministro de agua dulce. †De nuestro conocimiento, Sudáfrica es el único país que intenta actualmente implementar una política nacional (Ej. Ley de Aguas Nacionales de Sudáfrica de 1998). ‡En los pasados 30 años, más de un quinto de las estaciones que registraron caudales pequeños, en ríos no controlados en los EU han sido eliminados (USGS 1999). §Actualmente, al menos seis departamentos federales y veinte agencias en los EU comparten responsabilidades para varios aspectos del ciclo del agua y su manejo.

Las demandas crecientes por agua dulce también afectan dramáticamente la conservación de especies. A nivel global, al menos una quinta parte de las especies de peces de agua dulce están actualmente amenazadas o extintas, y las especies acuáticas conforman, hoy en día, casi la mitad de todos los animales listados por la federación como en peligro en los Estados Unidos. Los Estados Unidos poseen también casi el doble de las especies de peces de agua dulce amenazadas que cualquier otro país, y ha perdido más moluscos por extinción. Los moluscos en los Montañas Apalaches y los peces de agua dulce en los Apalaches, así como los de la cuenca árida de Sonora y su cordillera son especialmente vulnerables. Hay también muchos endemismos vulnerables en sistemas cársticos (cuevas de piedra-caliza y túneles) y acuíferos, incluidos el pez gato ciego, cangrejo y salamandras. Especies acuáticas en otros sistemas alrededor del mundo están de igual forma en peligro. Las tendencias actuales que se extienden rápidamente sobre los recursos hídricos tienen un número de implicaciones para las prioridades de investigación. Por un lado, éstas realzan la continua necesidad de un panel de científicos y analistas de políticas

para definir metas realistas y prioridades para la investigación sobre temas del agua. Mientras una cantidad de esfuerzos han conducido recientemente a pasos importantes hacia la definición de dichas prioridades, éstas están incompletas o aún sin instrumentar. Nuestro breve reporte puede sólo sugerir algunas prioridades que nos parecen críticas, reconociendo la necesidad de información más amplia ligada a la acción.

Por ejemplo, existe una necesidad sin precedente de investigación multidisciplinaria para resolver los problemas existentes del agua. Los ejemplos presentados anteriormente han enfatizado que el suministro de agua y la calidad están íntimamente conectados, pero los límites científicos tradicionales entre la climatología, hidrología, limnología, ecología y las ciencias sociales fragmentan nuestro entendimiento y tratamiento de los sistemas acuáticos. La necesidad de realizar investigación integrada ha sido frecuentemente citada, pero las agencias de financiamiento y administración e instituciones de investigación han implementado rara vez estas recomendaciones. (Una excepción notable es la co-participación de la National Science Foundation -Fundación

Nacional de Ciencia- y el Foundation and Environmental Protection Agency Water and Watershed Program – Programa de Agua y Cuenca de la Agencia de Protección Ambiental-. Ahora es un momento oportuno para incrementar incentivos para sintetizar tales esfuerzos críticamente necesarios.

Varios elementos deben tomarse en consideración en el pronóstico de las consecuencias de varios escenarios políticos para el suministro y la calidad de agua. Estos incluyen los cambios predichos en los flujos de agua, concentraciones de sedimentos, nutrientes, contaminantes y recursos bióticos (Recuadro 2). Las cuencas son una unidad espacial natural para dichas predicciones, pero algunos problemas como la eutroficación de las costas requiere la integración de predicciones a escalas regionales. Dichos pronósticos deben ser cuantitativos, proporcionando evaluaciones de incertidumbre como distribuciones de probabilidad, y estar basados en premisas claramente establecidas. Aunque la literatura contiene muchas herramientas cuantitativas para el pronóstico de los recursos de agua dulce, éste no es un campo bien organizado con una colección amplia de herramientas y enfoques estandarizados. Las herramientas cuantitativas para el pronóstico de cambios en procesos biogeoquímicos en ecosistemas terrestres y dulceacuícolas están también ausentes, especialmente a escala de grandes cuencas y regiones.

En muchos casos, la incertidumbre será el elemento más importante de los pronósticos de agua dulce.

Evaluando las incertidumbres, los pronosticadores pueden ayudar a los tomadores de decisiones a anticipar la gama de los posibles resultados y diseñar respuestas flexibles. Análisis cuidadosos de incertidumbre puede también ayudar a identificar áreas prometedoras de investigación que puedan mejorar las decisiones futuras. Los sistemas de agua dulce son cada vez más el foco de esfuerzos de manejo adaptativo, los cuales están planeados para ser seguros (disminuyendo el riesgo de daños ambientales o cambios irreversibles) e instructivos (con un diseño experimental claro y evaluaciones científicas cuidadosas de los efectos).

Progresos Actuales Y Opciones De Manejo

Las demandas crecientes sobre los recursos de agua dulce presentan una oportunidad para ligar la investigación en curso con mejoras en el manejo del agua. Políticas del agua exitosas de décadas recientes demuestran claramente este vínculo. De hecho, debido a estas interrelaciones, la eutroficación y contaminación de agua dulce han disminuido en muchos canales fluviales. Por ejemplo, en el río Hudson, las concentraciones de metales pesados como cobre, cadmio, níquel y zinc han sido reducidos a la mitad desde mediados de 1970. Hace

tres décadas, científicos y administradores mostraron contundentemente que la causa primordial de eutroficación en el agua dulce no se debía por el sobre-suministro de carbón, pero sí por nutrientes inorgánicos, especialmente fósforo. Este descubrimiento condujo a instrumentar extensivamente políticas para reducir contaminantes inorgánicos en Norteamérica y Europa, incluyendo prohibiciones sobre detergentes fosfatados y mejoras en el tratamiento de aguas domésticas. El mejoramiento rápido en los cuerpos de agua como el Lago Erie mostró que las políticas habían funcionado. Para acrecentar estos éxitos, fuentes no puntuales de contaminación de nutrientes deberían ser reducidas en el futuro. Un manejo agresivo de las entradas de nitrógeno también será necesario algunas veces, ya que el nitrógeno es el nutriente crítico en muchos ecosistemas acuáticos.

La restauración y preservación de hábitat son el foco de muchos esfuerzos para mejorar el manejo del agua. Por ejemplo, iniciando en 1962, los 166 Km del río Kissimmee que alguna vez fluyó en meandros por el sur hacia el Lago Okeechobee de Florida, fue convertido a un canal de 90 Km y 9 m de profundidad para el control de inundaciones. Inmediatamente, ocurrieron daños a la biodiversidad y a los servicios ecosistémicos. La hibernación de aves marinas descendió el 90%. La eutroficación aumentó en el Lago Okeechobee debido a que desaparecieron los humedales de las llanuras de inundación que alguna vez filtraron los nutrientes del río.

Hoy, después de décadas de investigación y numerosos estudios piloto, se ha comenzado la restauración de 70 Km del canal del río, 11,000 hectáreas de humedales, y 100 Km² de llanuras de inundación, en un costo proyectado de 500 millones de dólares.

En 1996, la ciudad de Nueva York invirtió más de mil millones de dólares en la compra de tierras y restauración de hábitat en las Montañas Catskill, la fuente de suministro de agua dulce de la ciudad. La cuenca estaba comenzando a contaminarse cada vez más con desechos domésticos, fertilizantes y pesticidas. Una planta filtradora para tratar el agua fue estimada en un costo de \$8 mil millones de dólares para su construcción y \$300 millones de dólares anuales para su operación. En contraste, la preservación del hábitat en la cuenca, para permitir que el propio ecosistema hiciera su tarea de saneamiento del agua, fue evaluada resultando ser tan efectiva como el tener una nueva planta de filtración. La preservación del hábitat y su restauración tienen un costo de una quinta parte del monto de una planta nueva de filtración, evita cientos de millones de dólares en costos anuales de mantenimiento, y provee muchos otros beneficios ecológicos y sociales a la región.

Una iniciativa política admirable está también tomando lugar en la cuenca Murray-Darling en Australia,

región que se encuentra bajo presión por la alta demanda de agua, la disponibilidad limitada del recurso, la población en aumento y los cambios en el uso del suelo. La cuenca Murray-Darling contiene 2 millones de personas, cubre porciones de cuatro estados australianos, y contribuye con casi la mitad de la producción agrícola australiana. Dos tercios de sus 700,000 Km² de bosques han sido convertidos a cultivos y pastizales. En años recientes, la salinización de suelos fuertemente irrigados y cambios en el nivel freático han reducido la producción agrícola en un 20%. Como resultado de la enorme evidencia de que la salud ecológica de los ríos de cuencas está disminuyendo, el Consejo Ministerial impuso un veto a los niveles de desviaciones de agua de 1993/94. Los Estados de la Cuenca también acordaron hace poco asignar un cuarto de los caudales naturales del río para mantenimiento de la salud ecológica del sistema.

También se han hecho progresos en la disponibilidad de agua para la salud humana. Setecientos millones menos de personas estuvieron sin agua potable segura en 1994 que en 1980, aún cuando la población global aumentó por más de mil millones. La proporción de gente en países en desarrollo con acceso a agua potable segura se elevó de menos de la mitad a más de tres cuartos durante el mismo periodo. En los Estados Unidos, la incidencia anual de enfermedades debidas al agua potable de 1970 a 1990, fue menos de la mitad que de 1920 a 1940, esto es, menos de cuatro casos por cada 100,000 personas.

CONCLUSIONES

En la próxima mitad de siglo, se ha proyectado que la población global se incrementará al menos tres veces más rápido que la escorrentía accesible de agua dulce. Como resultado, será necesario mejorar la eficiencia del uso del agua si vamos a balancear el suministro de agua dulce con la demanda y proteger también la integridad de los ecosistemas acuáticos (Cuadro 3). Las tecnologías como riego por goteo tienen un gran potencial, aunque subutilizado, para reducir el consumo de agua en agricultura. Eficiencias mayores en todos los usos del agua podrían ser alentadas a través de incentivos económicos y mediante una valoración más real de ambos, los suministros de agua y los servicios ecosistémicos de agua dulce. Monitoreos más completos de la química y flujos de agua, incluyendo mediciones de cantidad y calidad de agua a las mismas escalas espacial y temporal, podrían proveer también una mejor información para una eficiente repartición de los recursos hídricos entre aquellas necesidades que deben ser satisfechas. Este énfasis es especialmente importante porque en las tres décadas pasadas, más de una quinta parte de las estaciones de flujo instaladas sobre ríos pequeños y de flujo no controlado

en los Estados Unidos han sido eliminadas. Prioridades adicionales incluyen asegurar que los sistemas acuáticos naturales retengan suficiente cantidad, calidad, y duración de los flujos al interior de la corrientes, que hábitat críticos sean preservados en zonas de recarga de acuíferos y cuencas, y que los esfuerzos en la prevención de la contaminación tanto para fuentes puntuales como para no puntuales continúen mejorándose.

El logro del uso sostenible del agua en el futuro, dependerá también de los cambios continuos en la cultura del manejo del agua. Al menos seis departamentos federales y veinte agencias en los Estados Unidos comparten responsabilidades por varios aspectos del ciclo del agua. Coordinando sus diversas actividades mediante un panel con representantes de cada departamento o a través de una agencia central, motivaría el desarrollo de un plan nacional bien concebido para la investigación del agua y su manejo. El establecimiento de un panel de consejeros científicos y analistas políticos es también necesario para ayudar a definir las prioridades y metas de futuras investigaciones para abordar temas concernientes en materia de agua. Un buen primer paso en este proceso sería una nueva iniciativa de ciencia sobre el ciclo global del agua como parte del Programa de Investigación de Cambio Global.

RECONOCIMIENTOS

El panel agradece a J. Baron, L. Pitelka, D. Tilman y a 7 revisores anónimos por los comentarios útiles y discusiones sobre el manuscrito. RBJ agradece gratamente el apoyo de la National Science Foundation (la Fundación Nacional de la Ciencia), el Andrew W. Mellon Foundation (la Fundación Andrew W. Mellon), el Inter American Institute for Global Change Research (el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático) y el Departamento de Energía. Este documento es una contribución a los Proyectos Centrales de Cambio Global y Ecosistemas Terrestres (CGET) y Aspectos Biosféricos del (el) Ciclo Hidrológico (ABCH) del International Geosphere Biosphere Program (IGBP); Programa Internacional Geósfera Biosfera).

SUGERENCIAS PARA LECTURAS FUTURAS

Este reporte resume las conclusiones de nuestro panel. Nuestro reporte completo, el cual está publicado en la revista *Ecological Applications* (Volumen 11, Número 4, Agosto de 2001) discute y cita referencias extensivas a la literatura científica básica sobre este tema. De esta lista hemos escogido las referencias mostradas en la parte de abajo, como ilustrativas de las publicaciones científicas y que resumen en lo que se basa nuestro reporte.

- Czaya, E. 1981. *Rivers of the World*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Gleick, P. H. 1998. *The World's Water 1998-1999*. Island Press. Washington, D.C. Jackson, R. B., S. R. Carpenter, C. N. Dahm, D. M. McKnight, R. J. Naiman, S. L. Postel, S. W. Running. 2001. *Water in a Changing World*. *Ecological Applications* 11(4): in press.
- Jones, J. B., and P. J. Mulholland (eds.) 2000. *Streams and Ground Waters*. Academic Press. San Diego, California. 425 pp.
- L.Vovich, M. I., G. F. White, A. V. Belyaev, J. Kindler, N. I. Koronkevic, T. R. Lee, and G. V. Voropaev. 1990. Use and transformation of terrestrial water systems. Pages 235-252 in B. L. Turner II, W. C. Clark, R. W. Kates, J. F. Richards, J. T. Mathews, and W. B. Meyer, (eds.). *The Earth as Transformed by Human Action*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Naiman, R.J., J.J. Magnuson, D.M. McKnight, and J. A. Stanford (eds.). 1995. *The Freshwater Imperative: A Research Agenda*. Island Press, Washington, D.C.
- National Research Council. 1999. *New Strategies for America's Watersheds*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Postel, S. L., G. C. Daily, and P. R. Ehrlich. 1996. Human appropriation of renewable fresh water. *Science* 271: 785-788.
- Postel, S. 1999. *Pillar of Sand: Can the Irrigation Miracle Last?* W.W. Norton & Co., New York.
- Shiklomanov, I. A. 1997. *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world*. World Meteorological Organization, Stockholm, Sweden.
- United States Geological Survey. 1999. *Streamflow information for the next century: a plan for the national streamflow information program of the U.S. Geological Survey*. USGS Open-File Report 99-456.
- Vörösmarty, C. J., P. Green, J. Salisbury, and R. B. Lammers. 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science* 289:284-288.
- Wilson, M. A. and S. R. Carpenter. 1999. Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States, 1977-1997. *Ecological Applications* 9:772-783.

ACERCA DEL PANEL

Este reporte presenta un consenso alcanzado por un panel de siete científicos seleccionados para incluir una amplia mesa de experiencia en esta área. Este reporte

fue sujeto a una revisión arbitrada y fue aprobado por el Consejo de Editores de *Issues in Ecology*. Las afiliaciones de los miembros del panel de científicos son:

- Robert B. Jackson, Panel Chair, Department of Biology and Nicholas School of the Environment, Duke University, Durham, NC, 27708
- Stephen R. Carpenter, Center for Limnology, University of Wisconsin, Madison, WI, 53706
- Clifford N. Dahm, Department of Biology, University of New Mexico, Albuquerque, NM, 87131
- Diane M. McKnight, Institute for Arctic and Alpine Research, University of Colorado, Boulder, CO, 80309
- Robert J. Naiman, School of Aquatic and Fishery Sciences, University of Washington, Seattle, WA, 98195
- Sandra L. Postel, Global Water Policy Project, 107 Larkspur Drive, Amherst, MA, 01002
- Steven W. Running, School of Forestry, University of Montana, Missoula, MT, 59812

[Acerca De La Escritora Científica](#)

Yvonne Baskin, una escritora de ciencia, editó el reporte del panel de científicos para permitirle a éste una comunicación más efectiva de los hallazgos con la comunidad de no-científicos.

[Acerca De Issues in Ecology](#)

Issues in Ecology está diseñado para reportar, en lenguaje comprensible para la comunidad no-científicos, el consenso de un panel de científicos expertos sobre temas ambientales relevantes.

Issues in Ecology son financiados por el Programa "Pew Scholars in Conservation Biology" autorizada por David Tilman y por la *Ecological Society of America* –ESA– (la Sociedad Norteamericana de Ecología). Todos los reportes son sujetos a revisión arbitrada y deben ser aprobados por el consejo editorial antes de su publicación. Ninguna responsabilidad por la opinión expresada por los autos en las publicaciones de ESA es asumida por los editores o la editorial de la *Ecological Society of America*.

[Consejo Editorial De Issues in Ecology](#)

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

[Miembros Del Consejo](#)

- Dr. Stephen Carpenter, Center for Limnology, University of Wisconsin, Madison, WI 53706
- Dr. Deborah Jensen, The Nature Conservancy, 4245 North Fairfax Drive, Arlington, VA 22203.

Dr. Simon Levin, Department of Ecology and Evolutionary Biology, Princeton University, Princeton, NJ 08544-1003

Dr. Jane Lubchenco, Department of Zoology, Oregon State University, Corvallis, OR 97331-2914

Dr. Judy L. Meyer, Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, GA 30602-2202

Dr. Gordon Orians, Department of Zoology, University of Washington, Seattle, WA 98195

Dr. Lou Pitelka, Appalachian Environmental Laboratory, Gunter Hall, Frostburg, MD 21532

Dr. William Schlesinger, Departments of Botany and Geology, Duke University, Durham, NC 27708-0340

Reportes Previos

Reportes anteriores disponibles de *Issues in Ecology* de la *Ecological Society of America* incluyen:

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

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

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

Naeem, S., F.S. Chapin III, R. Costanza, P.R. Ehrlich, F.B. Golley, D.U. Hooper, J.H. Lawton, R.V. O'Neill, H.A. Mooney, O.E. Sala, A.J. Symstad, and D. Tilman. 1999. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Maintaining Natural Life Support Processes, *Issues in Ecology* No. 4.

Mack, R., D. Simberloff, W.M. Lonsdale, H. Evans, M. Clout, and F. Bazzaz. 2000. Biotic Invasions: Causes, Epidemiology, Global Consequences and Control, *Issues in Ecology* No. 5.

Aber, J., N. Christensen, I. Fernandez, J. Franklin, L. Hiding, M. Hunter, J. MacMahon, D. Mladenoff, J. Pastor, D. Perry, R. Slangen, H. van Miegroet. 2000. Applying Ecological Principles to Management of the U.S. National Forests, *Issues in Ecology* No. 6.

Howarth, R., D. Anderson, J. Cloern, C. Elfring, C. Hopkinson, B. LaPointe, T. Malone, N. Marcus, K. McGlathery, A. Sharpley, and D. Walker. 2000. Nutrient Pollution of Coastal Rivers, Bays, and Seas, *Issues in Ecology* No. 7.

Naylor, R., R. Goldberg, J. Primavera, N. Kautsky, M. Beveridge, J. Clay, C. Folke, J. Lubchenco, H. Mooney, and M. Troell. 2001. Effects of Aquaculture on World Fish Supplies, *Issues in Ecology* No. 8.

Traducción Al Español

M. en C. Miriam G. Ramos-Escobedo. Posgrado del Instituto de Ecología, A.C., Km 2.5 Carretera Antigua a Coatepec 351. Col. Congregación El Haya, 91070 Xalapa, Veracruz, México.

M. en C. Lyssette Elena Muñoz-Villers. Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma Metropolitana., Av. San Rafael Atlixco 186. Col. Vicentina, 09340 México, D.F.

Revisora de la traducción: Dra. Ana Burgos. Red Mexicana de Investigación Ecológica a Largo Plazo. Centro de Investigaciones en Ecosistemas – Universidad Autónoma de México.

Copias Adicionales

Para recibir copias adicionales de este reporte (\$5 dólares cada uno) o artículos anteriores de *Issues in Ecology*, favor de contactar:

Ecological Society of America
1707 H Street, NW, Suite 400
Washington, DC 20006
(202) 833-8773, esahq@esa.org



La serie *Issues in Ecology* está también disponible electrónicamente en www.esa.org/science/Issues

Acerca de Issues in Ecology

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

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

