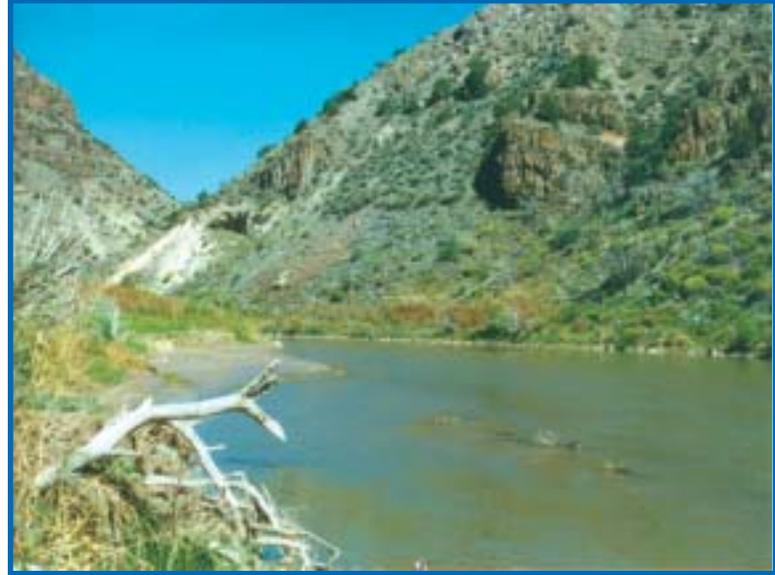


Tópicos en Ecología

Traducción al español de Issues in Ecology
Publicado por la Ecological Society of America (la Sociedad Norteamericana de Ecología)

Número 10, Invierno 2003

Ecosistemas de Agua Dulce Sustentables



Ecosistemas de Agua Dulce Sustentables

TITULO ORIGINAL Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems

RESUMEN

El agua dulce es vital para la vida humana y el bienestar económico. La sociedad extrae grandes cantidades de agua de los ríos, los lagos, los humedales y los acuíferos subterráneos para abastecer los requerimientos de las ciudades, el campo y la industria. Nuestra necesidad de agua dulce nos hizo pasar por alto los beneficios -igualmente vitales- de mantener el agua en su curso natural conservando los ecosistemas de agua dulce saludables. Sin embargo, hay un reconocimiento creciente de que los ecosistemas de agua dulce funcionalmente intactos y biológicamente complejos proveen muchas materias primas de valor económico y muchos servicios a la sociedad. Estos servicios incluyen control de las inundaciones, transporte, recreación, purificación de residuos industriales y de desechos humanos, hábitat para plantas y animales y producción de peces y otros alimentos y bienes de mercado. A largo plazo, los ecosistemas intactos tienen más probabilidad de conservar la capacidad adaptativa para mantener la producción de esos bienes y servicios de cara a las alteraciones ambientales futuras, tales como el cambio climático. Estos beneficios que brindan los ecosistemas son costosos y a menudo imposibles de reemplazar cuando los sistemas acuáticos están degradados. Por esa razón, las decisiones relacionadas con la asignación del agua siempre deberían incluir provisiones para mantener la integridad de los ecosistemas de agua dulce.

- La evidencia científica nos muestra que se pueden proteger o restaurar los ecosistemas acuáticos reconociendo lo siguiente: Los ríos, lagos, humedales y el agua subterránea que los conecta son literalmente "sumideros" en los cuales el paisaje drena. Lejos de ser cuerpos aislados o simples conductos, los ecosistemas de agua dulce están íntimamente ligados a la cuenca o a la zona de influencia de las que forman parte, y están muy influenciados por los usos y las modificaciones que hace el ser humano del terreno tanto como del agua. La red de cursos de agua en sí misma es importante para la continuidad de los procesos de los ríos.
- Los patrones dinámicos del caudal que se mantengan dentro del rango natural de variación promoverán la integridad y la sustentabilidad de los ecosistemas de agua dulce.
- Los ecosistemas acuáticos requieren, además, que los sedimentos y la línea de costas, las propiedades de calor y luz, la entrada de sustancias químicas y nutrientes y las poblaciones de plantas y animales fluctúen dentro de los rangos naturales, sin experimentar excesivas oscilaciones más allá de los rangos históricos, ni ser mantenidos a niveles constantes.

En la medida en que no se provean estos requerimientos naturales, habrá pérdida de especies y de servicios que proveen los ecosistemas en humedales, ríos y lagos. Sin embargo definir científicamente los requerimientos para proteger o restaurar los ecosistemas acuáticos es sólo el primer paso. También se requerirán nuevas políticas y aproximaciones de manejo. El enfoque de las políticas de agua actuales, hechas en forma fragmentada y orientadas por el consumo, no permite resolver los problemas de cara a la creciente degradación de nuestros ecosistemas de agua dulce. Para empezar a corregir el modo en que el agua es considerada y manejada en los Estados Unidos, nosotros recomendamos:

- 1) Enmarcar las políticas nacionales, regionales y locales de manejo del agua para incorporar explícitamente las necesidades de los ecosistemas de agua dulce.
- 2) Definir los recursos hídricos incluyendo las cuencas asociadas, de tal forma que el agua dulce sea considerada en un contexto de paisaje y de ecosistema y no de jurisdicción política o de cuerpo aislado geográficamente.
- 3) Aumentar la comunicación y la educación a través de las distintas disciplinas involucradas, especialmente entre ingenieros, hidrólogos, economistas y ecólogos, para facilitar un punto de vista integral de los recursos de agua dulce.
- 4) Aumentar los esfuerzos de restauración utilizando como guías principios ecológicos bien fundamentados.
- 5) Mantener y proteger los ecosistemas de agua dulce que aun tienen alta integridad.
- 6) Y reconocer la dependencia que tiene la sociedad del funcionamiento natural de los ecosistemas.

Portada - (1) Río Grande, en el Monumento Nacional Bandelier, Nuevo México. Fotografía cortesía de Jim Thibault, Departamento de Biología de la Universidad de Nuevo México; (2) Río Grande, cerca de Bernalillo, Nuevo México. Fotografía cortesía de Anders Molles, hijo de Manuel C. Molles, Jr., Departamento de Biología de la Universidad de Nuevo México; (3) Río Grande seco, en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bosque del Apache, 17 de julio de 2002. Fotografía cortesía de Jennifer Schuetz, Departamento de Biología de la Universidad de Nuevo México.

Ecosistemas de Agua Dulce Sustentables

por Jill S. Baron, N. LeRoy Poff, Paul L. Angermeier, Clifford N. Dahm, Peter H. Gleick, Nelson G. Hairston, Jr., Robert B. Jackson, Carol A. Johnston, Brian D. Richter, y Alan D. Steinman

INTRODUCCIÓN

El agua dulce es vital para la vida humana y para el bienestar económico. La sociedad se vio siempre fuertemente atraída por los ríos, lagos, humedales y acuíferos subterráneos para abastecerse de agua para beber, regar los cultivos y hacer funcionar los procesos industriales. Los beneficios de estos usos extractivos del agua dulce tradicionalmente oscurecieron los beneficios igualmente vitales de que el agua permaneciera en sus cauces naturales para mantener saludables los ecosistemas acuáticos. Hay un reconocimiento creciente de que los ecosistemas de agua dulce funcionalmente intactos y biológicamente complejos proveen muchos servicios y materias primas de valor económico a la sociedad. (Figura 1). Los servicios provistos por los ecosistemas de agua dulce incluyen control de las inundaciones, transporte, recreación, purificación de los desechos urbanos e industriales, hábitat para plantas y animales y producción de peces y otros alimentos y bienes de mercado. Estos beneficios al ser humano son lo que los ecólogos llaman servicios ecológicos, definidos como "los procesos y las condiciones a través de las cuales los ecosistemas naturales, y las especies que los conforman, sostienen y colman la vida humana". A largo plazo, los ecosistemas de agua dulce saludables tienen más probabilidad de conservar la capacidad adaptativa para mantener la producción de estos servicios ante futuras alteraciones ambientales tales como el cambio climático.

Los servicios ecológicos son costosos y a menudo es imposible reemplazarlos cuando los ecosistemas acuáticos están degradados. Aún así hoy en día los ecosistemas acuáticos están siendo severamente alterados o destruidos a una tasa mayor que en cualquier otro momento de la historia de la humanidad y mucho más rápido que lo que están siendo restaurados. Los debates sobre el uso sustentable de los recursos hídricos deberían reconocer que el mantenimiento de la integridad de los ecosistemas de agua dulce es un objetivo legítimo que debería ser considerado entre las distintas demandas por el agua dulce. Se requieren políticas coherentes que asignen más equitativamente el recurso agua entre el funcionamiento natural del ecosistema por un lado y las necesidades extractivas de la sociedad por el otro.

Las políticas actuales de manejo del agua en los Estados Unidos evidentemente no pueden alcanzar ese objetivo. Literalmente docenas de entidades gubernamentales diferentes tienen derecho a determinar qué residuos pueden descargarse en el agua y cómo se usa y redistribuye el agua, y los objetivos de un organismo están muchas veces en contraposición con los de

los otros. Las leyes y los reglamentos de los Estados Unidos relacionados con el agua se implementan en un contexto de manejo centrado, principalmente, en resguardar un mínimo aceptable de calidad de agua, mínimos de caudales y en proteger especies individuales más que las comunidades acuáticas en su conjunto. Es necesario un cambio fundamental en las políticas de manejo del agua de modo que se incorpore una visión más amplia de la naturaleza dinámica de los recursos de agua dulce y de los beneficios que ellos proporcionan a corto y a largo plazo.

Nuestras prácticas educativas actuales son tan inadecuadas como las políticas de manejo para lograr el desafío de un manejo sustentable

del recurso agua. Rara vez se enseñaron a los hidrólogos, los ingenieros, los administradores del agua y la gente que diseña y dirige el sistema nacional del recurso agua las consecuencias ecológicas de las políticas de manejo. Del mismo modo los ecólogos no suelen estar entrenados para considerar el rol crítico que tiene el agua para la sociedad o para entender a las instituciones que manejan el agua. Los economistas, los productores y los políticos rara vez proyectan a futuro para considerar todos los costos ecológicos potenciales de los planes a corto plazo. Pocos norteamericanos están enterados de cuál es la infraestructura que les brinda agua corriente purificada o la que se lleva sus residuos a otro lado y son menos aún los que comprenden las soluciones de compromiso

desde el punto de vista ecológico que se deben tomar para poder tener esas comodidades.

A pesar de que los requerimientos para que los ecosistemas de agua dulce se mantengan saludables a menudo van en contra de los requerimientos para las actividades humanas, es necesario que este conflicto deje de ser inevitable. El desafío está en encontrar cómo la sociedad puede extraer el agua que necesita y al mismo tiempo proteger la complejidad natural y la capacidad adaptativa tan importante de los ecosistemas de agua dulce. El conocimiento científico actual hace posible delinear aquí en términos generales los requerimientos de cantidad, calidad y periodicidad adecuada de las corrientes de agua para mantener el funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce. El próximo paso crítico será comunicar estos requerimientos a un público más amplio. Cuando el pueblo norteamericano recibe información sobre alternativas de manejo, apoya aquellas prácticas de manejo basadas en principios ecológicos, particularmente las referidas al agua dulce.

Diferentes estudios previos que trataron la condición global de los recursos de agua dulce, reconocieron que:

- el movimiento de agua a través de la biósfera está sumamente alterado por las actividades humanas;



Figura 1- Los ecosistemas de agua dulce proveen materias primas valoradas económicamente y servicios al ser humano (agua potable, riego, transporte, recreación, etc.), así como hábitat para plantas y animales.

Tabla 1 - Cambios en el caudal hidrológico, en la calidad del agua, en la extensión de humedales y en la viabilidad de especies en ríos, lagos y humedales de USA desde la colonización Euro-Americana.

Recursos de agua dulce de USA	Condición Anterior a la Colonización	Condiciones Actuales	Fuente
Ríos sin represas (en 48 estados contiguos)	5,1 millones de Km	4,7 millones de Km	Echeverria et al. 1989
Ríos que corren libremente que califican como silvestres y con estatus escénico (en 48 estados contiguos)	5,1 millones de Km	0,0001 millones de Km	U.S. DOI 1982
Número de diques >2m	0	75.000	CEQ 1995
Volumen de agua proveniente de aguas superficiales	0	10 millones de m ³ día ⁻¹ (1985)	Solley et al. 1998
Uso diario total de agua en USA.	Desconocido	1,5 millones de m ³ día ⁻¹ (1995)	Solley et al. 1998
Entradas de sedimentos a los embalses	no aplicable	1.200 millones de m ³ /año	Stallard 1998
Calidad de agua de ríos* (1,1 millones de Km inspeccionados)	Intacta	402.000 Km deteriorados*	EPA 1998
Calidad de Agua de lagos* (6,8 millones de ha inspeccionadas)	Intacta	2,7 millones de ha deterioradas*	EPA 1998
Extensión de Humedales (en 48 estados contiguos)	87 millones de ha	35 millones de ha	van der Leeden et al. 1990
Número de especies de peces de agua dulce nativas	822 especies	202 en peligro de extinción o extinguidas	Stein y Flack 1997
Número de especies de mejillón de agua dulce nativas	305 especies	157 en peligro de extinción o extinguidas	Stein y Flack 1997
Número de especies de cangrejo de río nativas	330 especies	111 en peligro de extinción o extinguidas	Stein y Flack 1997
Número de especies de anfibios nativas	242 especies	64 en peligro de extinción o extinguidas	Stein y Flack 1997

*Se inspeccionó sólo el 19% (1.116.500 Km) del río en USA sobre un total de 5.792.400 km. Se inspeccionó sólo el 40% (6,8 millones de ha) del total del área de lagos (16,9 millones de ha).

- el agua es usada intensamente por el ser humano;
- todo es afectado si baja la calidad del agua;
- y las especies de plantas y animales de agua dulce en peligro de extinción por las actividades humanas corren más riesgo de extinguirse que cualquier otra especie.

Estos y otros análisis indican que los ecosistemas de agua dulce están bajo estrés y corren riesgo (Tabla 1).

Evidentemente se necesitan nuevas estrategias de manejo. En esta publicación describimos los requerimientos para que el agua de los ecosistemas de agua dulce tenga suficiente calidad, cantidad, esté disponible en el momento adecuado y tenga un caudal variable para mantener la dinámica natural que produce los bienes y servicios del ecosistema. Sugerimos pasos a seguir para la restauración y concluimos con recomendaciones para proteger y mantener los ecosistemas de agua dulce.

REQUERIMIENTOS PARA LA INTEGRIDAD DE LOS ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE

Los ecosistemas de agua dulce difieren entre sí por el tipo, la ubicación y el clima, pero de cualquier manera comparten características importantes. Para empezar, los lagos, humedales, ríos y el agua subterránea que los conecta, comparten una necesidad común de agua en un determinado rango de cantidad y calidad. Además, debido a que los ecosistemas de agua dulce son dinámicos, todos requieren de cierta variación natural o de disturbio para mantener su viabilidad o resiliencia. Las variaciones en las corrientes de agua de estación a estación y de año a año

son necesarias, por ejemplo, para el mantenimiento de las comunidades de plantas y animales, y la dinámica natural del hábitat que garantiza la producción y la supervivencia de las especies. La variabilidad en la tasa y en la periodicidad del caudal de agua impacta fuertemente en el tamaño de las poblaciones de plantas y animales nativos y en su estructura de edades, en la presencia de especies raras o altamente especializadas, en la interacción de las especies entre sí y con el ambiente y en muchos otros procesos del ecosistema. Los patrones periódicos y episódicos del caudal de agua también influyen en la calidad del agua, en las condiciones físicas del hábitat y en las conexiones y las fuentes de energía de los ecosistemas acuáticos. Los ecosistemas de agua dulce, por lo tanto, han evolucionado al ritmo de la variabilidad hidrológica natural.

La estructura y el funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce están estrechamente ligados también a las cuencas o zonas de influencia de las que forman parte. El flujo del agua a través del paisaje en su camino hacia el mar, transcurre en tres dimensiones, uniendo la porción superior del cauce a la inferior, los cauces pequeños a las planicies de inundación y humedales ribereños, y el agua superficial al agua subterránea. Los materiales generados a través del paisaje finalmente llegan a los ríos, lagos y a otros ecosistemas de agua dulce. Por lo tanto estos ecosistemas están fuertemente influenciados por lo que pasa en la superficie terrestre, incluyendo las actividades humanas.

Nosotros identificamos cinco factores ambientales dinámicos que regulan la mayor parte de la estructura y del funcionamiento de cualquier ecosistema acuático, si bien su importancia relativa

varía entre los distintos tipos de ecosistemas acuáticos (Figura 1). La interacción de estos determinantes en tiempo y espacio define la naturaleza dinámica de los ecosistemas de agua dulce:

1. El *patrón del caudal* define las tasas y vías por las que la lluvia y la nieve derretida entran y circulan por los cauces de los ríos, los lagos, los humedales y el agua subterránea que los conecta, y también determina cuánto tiempo el agua queda almacenada en estos ecosistemas.

2. La *entrada de sedimentos y de materia orgánica* proporciona la materia prima que crea la estructura física del hábitat, los refugios, los sustratos y los sitios de desove, y provee y almacena los nutrientes que sustentan a las plantas y los animales acuáticos.

3. Las características de *temperatura y luz* regulan los procesos metabólicos, los niveles de actividad y la productividad de los organismos acuáticos.

4. Las *condiciones químicas y nutricionales* regulan el pH, la productividad de plantas y animales y la calidad del agua.

5. El *ensamble de plantas y animales* influye en las tasas de los procesos del ecosistema y en la estructura de la comunidad.

En ecosistemas de agua dulce que funcionan naturalmente, estos cinco factores varían a lo largo del año dentro de un rango definido, siguiendo los cambios estacionales en el clima y la duración del día. Las especies evolucionaron y los ecosistemas se ajustaron para acomodarse a estos ciclos anuales. Además desarrollaron estrategias para sobrevivir –y a menudo requerir– extremos hidrológicos periódicos causados por inundaciones y

sequías, que exceden los límites anuales normales de caudal, de temperatura y de otros factores.

Centrándonos en un factor a la vez no obtendremos una verdadera imagen del funcionamiento del ecosistema. Para evaluar la integridad de los ecosistemas de agua dulce se requiere que los cinco factores ambientales dinámicos se integren y se consideren en forma conjunta.

Patrón del Caudal

Una evaluación de las características que se requieren para el buen funcionamiento de los arroyos, ríos, humedales y lagos puede empezar con una descripción de los patrones del caudal natural o histórico. Ciertos aspectos de esos patrones son críticos para la regulación de la productividad biológica (es decir: el crecimiento de las algas o del fitoplancton que forman la base de las redes tróficas acuáticas) y la diversidad biológica, particularmente para los ríos. Estos aspectos incluyen el caudal basal, las inundaciones anuales o frecuentes, los eventos de inundación raros o extremos, la estacionalidad de los caudales y la variabilidad anual (RECUADRO 1). Estos factores también son relevantes para evaluar la integridad de los lagos y humedales porque los patrones del caudal y el período hídrico (es decir, las fluctuaciones estacionales en los niveles del agua) influyen en los patrones de circulación del agua y en las tasas de renovación, así como en los tipos y abundancia de la vegetación acuática tales como juncos, pastos y plantas con flores. Más aún, el patrón de caudal característico de un lago, humedal o arroyo influye en

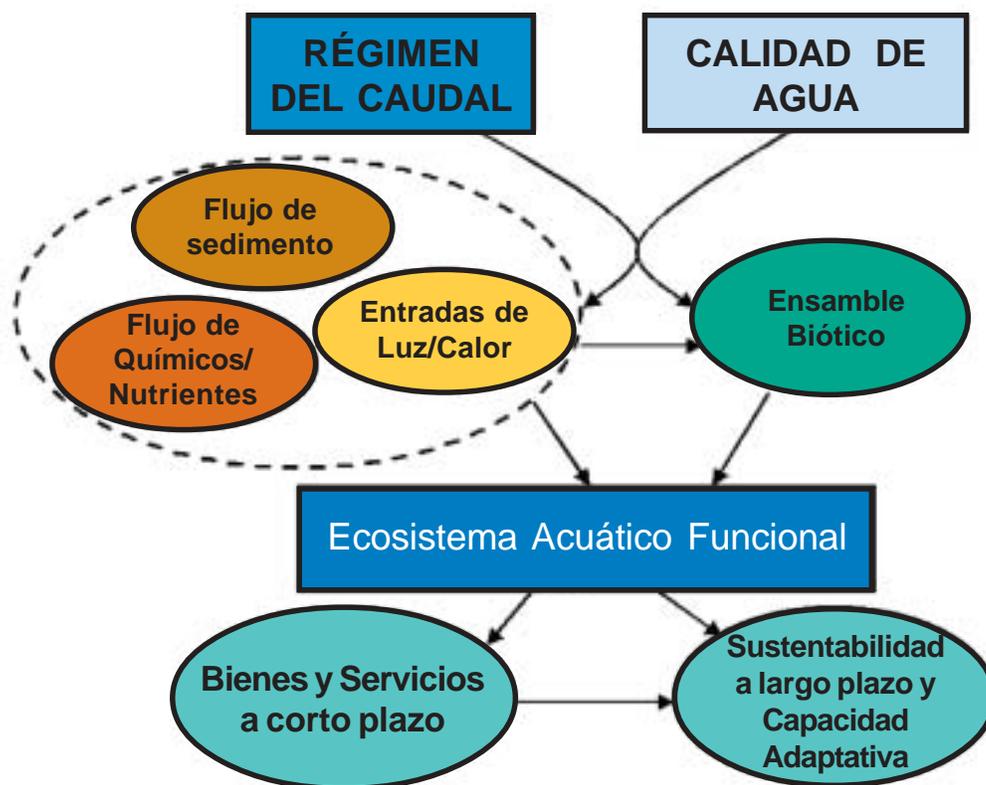


Figura 2 - Modelo conceptual de las principales fuerzas que influyen los ecosistemas de agua dulce.

RECUADRO 1 - DEFINIENDO CONDICIONES DE CAUDAL PARA RÍOS Y ARROYOS

Los caudales basales se caracterizan por ser de bajo caudal, típicos de los períodos entre tormentas. Definen la cantidad mínima de agua en el cauce, lo que influye directamente en la disponibilidad de hábitat para los organismos acuáticos así como la profundidad a la que el suelo está saturado con agua para las especies ribereñas. La magnitud y duración del caudal basal varían enormemente entre diferentes ríos, reflejando las diferencias de clima, geología, y vegetación de una cuenca.

Inundaciones frecuentes (es decir, a intervalos de dos años) restablecen el sistema vaciando de materiales finos el lecho del río, promoviendo así una producción más alta durante los períodos de caudal basal. Los caudales altos también pueden facilitar la dispersión de organismos tanto río arriba como río abajo. En muchos casos los caudales ligeramente altos inundan las planicies de inundación adyacentes y mantienen la dinámica de la vegetación ribereña.

Eventos raros o extremos como inundaciones que ocurren cada 50 o 100 años representan eventos reformativos importantes para el sistema del río. Durante estos eventos, se transportan grandes cantidades de sedimentos y a menudo se transfieren del cauce principal a las planicies de inundación. La diversidad del hábitat dentro del río aumenta en la medida en que el cauce se draga naturalmente, se reformula la dinámica sucesional de las comunidades ribereñas y se restablecen los humedales del lecho de inundación. Las corrientes grandes también pueden remover especies que estaban pobremente adaptas al ambiente dinámico del río, como especies de árboles de lomas o especies de peces no-nativas. El éxito de los invasores exóticos a menudo disminuye por los caudales naturales altos, y la restricción que a las grandes inundaciones imponen los embalses juega un papel importante en el establecimiento y proliferación de especies exóticas en muchos sistemas de ríos.

La estacionalidad de las corrientes, especialmente los caudales altos, son críticos para el mantenimiento de muchas especies nativas cuyas estrategias reproductivas están ligadas a esos caudales. Por ejemplo, algunos peces usan corrientes altas para comenzar las carreras de desove. A lo largo de los ríos occidentales, el álamo americano libera semillas durante el momento de máximo derretimiento de la nieve para maximizar la oportunidad de establecimiento de plántulas en las planicies de inundación. El cambio en la estacionalidad de las corrientes tiene consecuencias negativas severas para las comunidades acuáticas y ribereñas.

La variación anual de caudal es un factor importante que influye los sistemas ribereños. Por ejemplo, la variación de un año a otro en el volumen de agua de escorrentía puede mantener una alta diversidad de especies. De modo similar, la productividad del ecosistema y la estructura de las redes tróficas pueden fluctuar en respuesta a esta variación anual. Esta variación también asegura que distintas especies se beneficien en diferentes años, promoviendo así una diversidad biológica alta.

modo crítico en la productividad de las algas y es un factor importante a ser considerado cuando se determinan niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) aceptables del agua de escorrentía del área circundante.

Las alteraciones de los caudales de los ríos hechas por el hombre rara vez tuvieron en cuenta las consecuencias ecológicas. “Muchos ríos, ahora, se asemejan a elaborados trabajos de plomería con caudales completamente controlados, como el agua de una canilla, de modo tal de maximizar los beneficios que obtiene el hombre de los ríos” escribió la experta en políticas hídricas Sandra L. Postel. “Pero mientras que la ingeniería moderna fue asombrosamente exitosa en brindar agua a la gente y a los terrenos agrícolas donde y cuando se necesitaban, falló en proteger la función ecológica fundamental de los ríos y de los sistemas acuáticos”.

Los ríos del oeste de Estados Unidos son un buen ejemplo de cómo la manipulación antrópica de los cursos de agua puede llevar a múltiples daños en los procesos y en las comunidades de los albardones y de las planicies de inundación. El embalsado de los ríos y el amortiguamiento de las variaciones naturales de los caudales mediante el mantenimiento de un caudal mínimo a lo largo del año, contribuyó a la pérdida generalizada de especies de peces nativas y al fracaso de la regeneración del álamo americano nativo, que mantenía una comunidad ribereña diversa (RECUADRO 2).

Entrada de Sedimentos y de Materia Orgánica

En los sistemas ribereños, el movimiento de sedimentos y la afluencia de la materia orgánica son componentes importantes de la estructura del hábitat y de su dinámica. Las entradas naturales de materia orgánica incluyen el escurrimiento superficial estacional y restos vegetales tales como hojas y material vegetal senescente de las comunidades terrestres de la cuenca. Especialmente en ríos pequeños y arroyos, el aporte de materia orgánica desde la superficie terrestre es una fuente particularmente importante de energía y nutrientes, y los troncos de árboles y otros materiales leñosos que caen al agua proporcionan sustratos



Figura 3- El uso de arroyos por el ganado puede tener impacto en la cantidad de entradas de sedimentos y nutrientes. Foto cortesía de U.S. Geological Survey, South Platte National Water Quality Assessment Program (NAWQA).

y hábitats importantes para los organismos acuáticos. Los movimientos naturales de sedimentos son los que acompañan las variaciones naturales de los caudales del agua. En lagos y humedales todos los flujos de entrada de sedimentos, con excepción de los más finos, se depositan permanentemente en el fondo, por lo que con el correr del tiempo esos sistemas se colmatan. Los invertebrados, las algas, las briofitas, las plantas vasculares y las bacterias que pueblan el fondo de los sistemas de agua dulce están altamente adaptados a los sedimentos y a las condiciones de materia orgánica específicas de su medio ambiente, así como lo están muchas especies de peces, y no pueden persistir frente a cambios en el tipo, tamaño o frecuencia de entrada de sedimentos. La suerte de estos organismos es crítica para sustentar los ecosistemas de agua dulce dado que ellos son responsables de la mayoría del trabajo de purificación del agua, descomposición y reciclado de nutrientes.

El hombre alteró de modo severo las tasas naturales de entrada de sedimentos y materia orgánica a los sistemas acuáticos, aumentado algunas entradas mientras que disminuía otras (Figura 3). Las prácticas irracionales de agricultura indigente, tala o construcción, por ejemplo, fomentan altas tasas de erosión del suelo. En muchas regiones, los arroyos pequeños y los humedales han sido eliminados completamente por su colmatación, por las pavimentaciones o por el redireccionamiento del agua dentro de canales artificiales. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, siglas en inglés de Environmental Protection Agency) informó que en un cuarto de todos los lagos con calidad de agua inferior

a la estándar, la causa del deterioro es la entrada de sedimentos que provienen de la agricultura, de zonas urbanas, de la construcción, y de otras fuentes no puntuales (ampliamente dispersas). Los diques alteran el caudal de sedimentos tanto en el embalse que originan, como en el curso de agua posterior, colmatando al primero y privando de agua al segundo. En una estimación en bases de Estados Unidos, se depositan al año unos 1.200 millones de metros cúbicos de sedimentos (Tabla 1). Esta captura de sedimentos, a su vez, corta el normal abastecimiento de arena, arcilla y grava río abajo causando erosión del lecho del río, lo que profundiza el cauce y aísla la planicie de inundación y los humedales ribereños del curso principal durante las crecidas. La rectificación de los cursos, el sobrepastoreo de los ríos y sus orillas, y el raleo de la vegetación marginal reducen las entradas de materia orgánica y a menudo aumentan la erosión.

Temperatura y Luz

Las propiedades lumínicas y calóricas de un cuerpo de agua están influidas por el clima y la topografía tanto como por las características del propio cuerpo de agua: su composición química, suspensión de sedimentos y su productividad de algas. La

temperatura del agua regula en forma directa la concentración de oxígeno, la tasa metabólica de los organismos acuáticos y los procesos vitales asociados como el crecimiento, la maduración y la reproducción. El ciclo de temperatura influye marcadamente en el *fitness* de plantas y animales y, por extensión, determina el lugar donde se distribuyen las especies en el sistema y cómo varía la comunidad biótica del cuerpo de agua de estación en estación. En los lagos particularmente, la absorción de energía solar y su disipación como calor son procesos críticos en el desarrollo de gradientes de temperatura entre la superficie y las capas más profundas de agua, así como en los patrones de circulación del agua. Los patrones de circulación y los gradientes de temperatura a su vez influyen sobre los ciclos de nutrientes, sobre la distribución del oxígeno disuelto, y sobre la distribución y el comportamiento de los organismos, incluidos los de los peces preferidos por los pescadores deportivos. La temperatura del agua puede cambiar dramáticamente río abajo de una represa

(RECUADRO 2). En el Río Green de Utah, las temperaturas medias mensuales del agua, antes del cierre del dique Flaming Gorge en 1962, variaban entre 2° C en invierno y 18° C en verano. Una vez cerrado, el rango anual de temperaturas mensuales del agua río abajo del dique fue mucho más acotado, entre 4° C y 9° C. Como resultado, la riqueza de especies disminuyó y 18 géneros (es decir, grupos de especies relacionadas) de insectos se perdieron; otras especies, principalmente el camarón de agua dulce comenzaron a dominar entre los invertebrados. Los insectos acuáticos no se recuperaron a pesar de los 20

años de restauración parcial de la temperatura lograda mediante la liberación de agua de reservorios más cálidos. La temperatura del agua también disminuyó en el Río Colorado después de la finalización del dique Glen Canyon en 1963 y hubo un incremento dramático en la claridad del agua. La transparencia de agua permite ahora una visibilidad habitual mayor a 7 metros, mientras que antes del cierre del dique la columna de agua era opaca con sedimentos en suspensión. El agua más clara y más fría permitió que una población de truchas exóticas floreciera en la cima de una red trófica inusual que se encuentra más comúnmente mucho más al norte.

Condiciones Químicas y Nutricionales

Las condiciones nutricionales y químicas naturales son reflejo del clima local, del lecho rocoso, del suelo, del tipo de vegetación y de la topografía. Las condiciones naturales de agua pueden ir desde claras, pobres en nutrientes, en ríos y lagos sobre lechos rocosos cristalinos, hasta mucho más enriquecidas químicamente, productoras de algas, en aguas de cuencas de captación con



Figura 4- Eutroficación debida al flujo de retorno del riego. Fotografía cortesía del U.S. Geological Survey, South Platte National Water Quality Assessment Program (NAWQA).

suelos ricos en materia orgánica o sustratos de caliza. Esta diversidad regional natural de las cuencas de agua, a su vez, sustenta una alta biodiversidad.

Una condición conocida como eutroficación cultural ocurre cuando una cantidad adicional de nutrientes, básicamente nitrógeno y fósforo, proveniente de las actividades humanas, ingresa en los ecosistemas de agua dulce (Figura 4). La consecuencia es una disminución en la biodiversidad a pesar de que la productividad de ciertas especies de algas puede incrementarse muy por encima de los niveles originales. Los lagos del oeste medio y del este de Estados Unidos, como los lagos Michigan, Huron, Erie y Ontario muestran las consecuencias de las entradas en exceso de nutrientes y contaminantes tóxicos, así como de la introducción de especies no nativas y de la sobrepesca (RECUADRO 3). El Lago Onondaga en Nueva York que fue contaminado con salmuera proveniente de una industria de carbonato de sodio, respondió también con un marcado cambio en el plancton y en las comunidades de peces, incluyendo la invasión de especies de peces exóticas. Entre los lagos de Estados Unidos identificados por la EPA en 1996 como deteriorados, el exceso de nutrientes contribuyó a más de la mitad de los problemas de calidad de agua. En más de la mitad de los arroyos de zonas urbanas y agrícolas muestreados por el U. S. Geological Survey se encontraron concentraciones de pesticidas que excedían los límites para la protección de la vida acuática.

Ensamble de Plantas y Animales

La comunidad de especies que vive en cualquier ecosistema acuático refleja tanto el conjunto de especies disponible en la región, como la habilidad de las especies individuales para colonizar y sobrevivir en ese cuerpo de agua. La habitabilidad de un ecosistema de agua dulce para cualquier especie en particular está determinada por las condiciones ambientales —es decir el caudal de agua, los sedimentos, la temperatura, la luz y los patrones de nutrientes— y por la presencia de otras especies en el sistema, y sus interacciones con ella. Así, tanto el hábitat como la comunidad biótica proporcionan el control y la retroalimentación que mantienen un rango de diversidad de especies. El amplio grado de variación natural en las condiciones ambientales del agua dulce a través de los Estados Unidos promueve una alta diversidad biológica. De hecho, los hábitats de agua dulce de Norte América no tienen virtualmente rivales en la diversidad de especies de peces, mejillones, cangrejos, anfibios y reptiles acuáticos, comparado con cualquier otro lugar del mundo. La biota, a su vez, modela los procesos ecológicos críticos de producción primaria, descomposición y reciclado de nutrientes. Dentro de un cuerpo de agua, las especies a menudo se superponen, cumpliendo roles aparentemente redundantes en estos procesos, un factor que contribuye a que los ecosistemas locales tengan una mayor capacidad de adaptación frente a los

cambios ambientales futuros. Una redundancia aparentemente alta (es decir, riqueza de especies o biodiversidad) otorga algo así como un seguro para que las funciones ecológicas continúen durante las situaciones de estrés ambiental. Para esto la conectividad entre los cuerpos de agua es crítica, ya que les permite a las especies moverse a hábitats más adecuados a medida que las condiciones ambientales cambian.

Las actividades humanas que alteran las condiciones ambientales del agua dulce, pueden cambiar fuertemente la identidad de las especies en la comunidad y el funcionamiento de los ecosistemas (Figura 5). Un estrés excesivo o la simplificación de la complejidad natural tienen el potencial de empujar a los ecosistemas de agua dulce funcionalmente intactos más allá de los límites de resiliencia o sustentabilidad, amenazando su habilidad para proveer bienes y servicios importantes tanto a corto como a largo plazo. Es más, la introducción de especies exóticas que pueden prosperar bajo el rango de variación ambiental reinante o del alterado, puede contribuir a la extinción de especies nativas, modificar severamente las redes tróficas y alterar los procesos ecológicos tales como el reciclado de nutrientes. Las especies exóticas son a menudo exitosas en los ambientes modificados, de los que puede resultar difícil erradicarlas.



Figura 5- Los ecosistemas de agua dulce proporcionan hábitats a las plantas y animales. Las actividades humanas y el uso del agua ponen a muchas de estas especies de agua dulce en peligro de extinción. Fotografía cortesía del U.S. Geological Survey, South Platte National Water Quality Assessment Program (NAWQA).

HERRAMIENTAS DISPONIBLES PARA LA RESTAURACIÓN

Pese a la magnitud de la degradación de los ecosistemas de agua dulce, existen técnicas de manejo que pueden restaurar esos sistemas hasta un estado más natural y sustentable y prevenir así la pérdida continua de biodiversidad, de funcionamiento del ecosistema y de integridad ecológica. Una de las técnicas, por ejemplo, consiste en restaurar algunas de las variaciones naturales del caudal de los cursos de agua, basada en el conocimiento de que los sistemas de río son naturalmente dinámicos. Se aplicaron y propusieron nuevas aproximaciones estadísticas para diversos ríos para conseguir estrategias de manejo que incluyan la variabilidad de los caudales en el tiempo, incluyendo el Río Flathead en Montana, el Río Roanoke en Carolina del Norte y el inmenso sistema del Río Colorado en el oeste. Estas técnicas de modificación de caudales de agua buscan un balance entre la necesidad de descarga de agua para generación de energía o riego y las necesidades ecológicas de los cursos de agua para que la variabilidad del caudal tenga una temporalidad adecuada, una frecuencia, una duración y una tasa de cambio característica de los sistemas naturales (Figura 6). La restauración de esa variabilidad de caudal ayuda a reconectar la dinámica de los ríos y los sistemas de agua subterránea con las corrientes de superficie, permitiendo que el agua se mueva más naturalmente a través de todas las dimensiones espaciales, lo que es esencial para el funcionamiento completo de los ecosistemas.

RECUADRO 2 - EL RÍO COLORADO

El Río Colorado es uno de los sistemas de río más altamente regulados y fuertemente explotados en el mundo. Dos embalses principales, los lagos Powell y Mead, junto con otros 12 depósitos grandes almacenan y descargan el agua de acuerdo a complicadas ecuaciones diseñadas para maximizar la generación hidroeléctrica y el suministro de agua para el uso agrícola, doméstico e industrial en siete estados del Oeste de los Estados Unidos y México. Más de 30 millones de personas dependen del agua del Río Colorado. El tratado original "Colorado River Compact" de 1928 asignó toda el agua para uso humano. (En la actualidad la asignación está exagerada porque se sobrestimaron los volúmenes de agua típicos mientras que se ignoró la variabilidad interanual.)

Los cambios físicos del río aguas abajo de los diques han sido profundos. El caudal del Río Colorado está determinado por el derretimiento de la nieve, y los patrones de caudal previos a la construcción de los diques estaban dominados por las grandes descargas desde abril hasta julio, seguido por caudales bajos a fines del verano y en otoño. El río acarrea enormes cantidades de sedimento de la fácilmente erosionable Meseta del Colorado, y las temperaturas del río eran estacionalmente calurosas. Hoy, el caudal del río está prácticamente desacoplado del derretimiento natural de nieve, y los picos de descargas pueden ocurrir en cualquier mes, a menudo entre noviembre y enero. Regularmente ocurren cambios diarios en las descargas de agua que alcanzan los 566 metros cúbicos por segundo para la generación de fuerza motriz. Los sedimentos aluviales que alguna vez jugaron un papel vital en la creación de hábitats en el cauce, ahora quedan atrapados en los diques y aguas debajo del dique, el agua es clara y pobre en sedimentos. También, debido a que el agua que se libera proviene del fondo en la mayoría de los embalses, las temperaturas del agua durante cientos de kilómetros debajo de los diques son muy frías a lo largo del verano y relativamente calientes durante el invierno, lo que representa una inversión del ciclo estacional natural. (Una excepción es el Embalse Flaming Gorge en el Río Green en la cuenca superior del Colorado, donde se descarga agua de diversas profundidades del depósito.)

Las respuestas ecológicas a los diques han sido igualmente profundas. Las aguas claras y frías posteriores a los diques, junto con la introducción extendida de especies exóticas, han promovido redes tróficas que son ajenas al Río Colorado. Antes de la regulación, la materia orgánica que alimentaba las redes tróficas de los ríos se originaba principalmente en la superficie terrestre y era arrastrada al río durante los grandes eventos de escorrentía. Ahora, la materia orgánica es proporcionada fundamentalmente por marañas frondosas de algas que crecen en el fondo del río. Las algas son consumidas por los insectos y otros invertebrados que históricamente sólo habitaban los afluentes mucho más fríos del Colorado; estos insectos e invertebrados son consumidos a su vez por las truchas arco iris y las truchas de río, ambas exóticas. Debajo del Dique Glen Canyon que sostiene el Lago Powell, sólo permanecen cuatro de las ocho especies de peces nativos, junto con 22 exóticas, muchas de las cuales compiten por alimento o directamente predan a las especies nativas en peligro de extinción. Los árboles de álamo americano nativos y la comunidad animal que ellos cobijan están declinando debido a que los árboles son incapaces de echar raíces bajo regímenes de caudal variables. También, los embalses río arriba, que reducen la magnitud de las inundaciones anuales impiden el establecimiento del álamo americano en la parte más alta de los albardones. Otros arbustos y árboles que son más tolerantes a estas condiciones modificadas han crecido profusamente, incluyendo exóticas como el tamarisco.

Los efectos de los 14 diques principales y de un centenar de desviaciones del agua se vienen sintiendo a lo largo del río hasta la desembocadura. Desde la finalización del Dique Glen Canyon en 1963, ha sido infrecuente poder detectar caudales mensurables desde el Río Colorado en el Mar de Cortez. El área de humedales en la desembocadura del río disminuyó de un promedio histórico de 250.000 hectáreas a entre 5.800 y 63.000 hectáreas (dependiendo del año). En el Mar de Cortez, la falta de entradas de agua dulce ha contribuido a poner peligro un gran número de especies, y la pérdida de productividad de algas ha provocado que la abundancia de poblaciones de moluscos bivalvos decayera un 94 por ciento desde los valores de 1950.

Para reducir el impacto causado por el funcionamiento del dique en los recursos ecológicos del río, el Congreso aprobó la Ley de protección del Grand Cañón, en 1992. Un gran grupo de comunidades y organizaciones locales del Río Colorado trabajan ahora con un Departamento del Interior patrocinado por el Centro de Investigación y Monitoreo del Grand Cañón para intentar, a través del manejo adaptativo, proteger y restaurar las áreas ribereñas y los peces nativos, muchos de los cuales están amenazados o en peligro de extinción. En 1996, después de casi 15 años de estudio, fue generada una inundación experimental grande para ayudar a científicos y a gerentes a investigar los efectos de los caudales altos en el transporte de sedimentos y recursos biológicos, culturales y socio-económicos. Se planea otro conjunto de inundaciones experimentales, junto con esfuerzos agresivos para reducir las poblaciones de truchas exóticas. También está en discusión la instalación de un dispositivo de control de temperatura en el Dique Glen Canyon para elevar las temperaturas del agua debajo del Dique. La restauración parcial de las temperaturas históricas debajo del Dique Flaming Gorge en el Río Green, sin embargo, no ha mejorado las condiciones para los insectos acuáticos justo debajo del dique. Más de 20 años después, el número de especies es tan bajo o incluso menor aún que antes de que los esfuerzos de restauración empezaran. Más allá, río abajo, el número de taxones de insectos aumentó, pero sólo porque las temperaturas de los veranos fueron más altas, en combinación con inundaciones periódicas y entradas de sedimentos de un afluente.

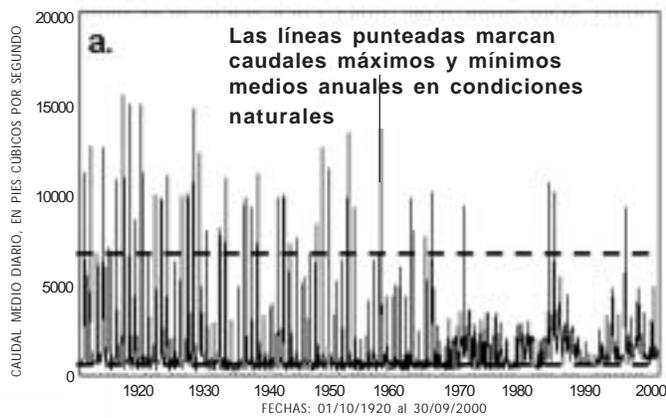
¿Es posible manejar un río tan regulado como el Río Colorado de manera de proteger y mejorar las condiciones medioambientales para la biota nativa? Sólo el tiempo lo dirá, pero un primer paso importante es reconocer que los procesos y las condiciones claves deben tener la posibilidad de fluctuar dentro de un rango de variabilidad natural.



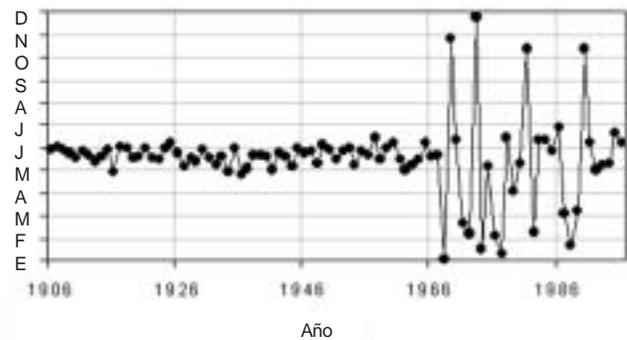
Mérito por las fotografías, en sentido horario desde arriba: Río Green, 22 de mayo de 1871: John Wesley Powell Photographs / #17234, Grand Canyon National Park Museum Collection; La cuenca de Loch Vale, CO: J. Barón; Río Colorado: K. Henry; Grand Canyon ca. 1872, John Wesley Powell Photographs / #17248, Grand Canyon National Park Museum Collection; Delta del Río Colorado: Jennifer Pitt, Environmental Defense; Lago Mead: National Park Service; Dique Hoover 2002: P. Nagler; Dique Glen Canyon: Bureau of Reclamation, Región Superior del Colorado.

Otros esfuerzos de restauración apuntaron a revertir la contaminación, tanto la proveniente de fuentes puntuales como los efluentes industriales y los desagües cloacales, como la contaminación difusa tal como el escurrimiento superficial de fertilizantes proveniente del césped urbano y de las áreas rurales cultivadas. Las fuentes puntuales de contaminación del agua son fácilmente identificables y muchas han sido controladas, gracias, en gran parte, a las leyes federales Ley de agua limpia y Ley de agua potable. Las fuentes no puntuales de nutrientes y toxinas son ahora las principales proveedoras de contaminantes de los

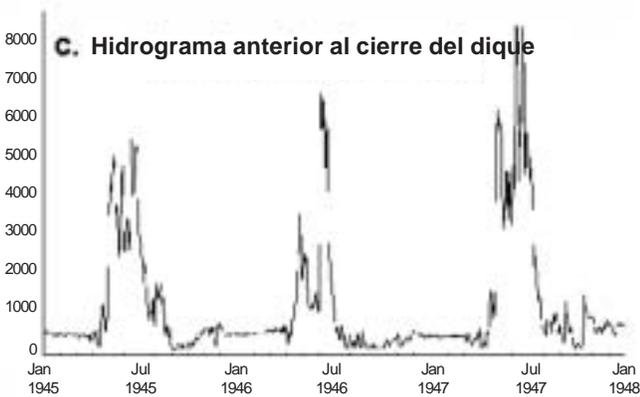
ecosistemas de agua dulce. En algunas situaciones las prácticas de manejo mejoradas lograron reducir el escurrimiento superficial de contaminantes proveniente de las tierras agrícolas. Dichas prácticas incluyen el control de la erosión y la aplicación moderada de fertilizantes, pesticidas y herbicidas. Sin embargo, las prácticas de manejo mejoradas requieren agricultores dispuestos y la buena predisposición se logra a menudo a través de incentivos económicos o de regulaciones rigurosas. Para ayudar en la determinación de las prácticas de manejo mejoradas, la EPA publicó recientemente una serie de pautas para establecer los criterios de



b. Momento del Pico de Descarga Anual



c. Hidrograma anterior al cierre del dique



d. Hidrograma posterior al cierre del dique

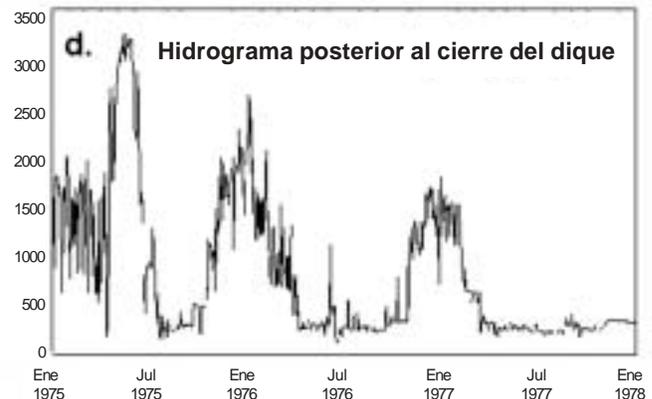


Figura 6 - Características Hidrológicas del Río Gunnison, Colorado (sitio #09128000; USGS Water Resources Data of USA: <http://water.usgs.gov/nwis>). a) Caudal medio diario (pies cúbicos por segundo) para el período 1906-1996. Las líneas punteadas muestran los caudales anuales máximos y mínimos medios anteriores a la construcción del dique; b) Momento del año en que ocurre el pico de descarga anual en el Río Gunnison, mostrando la descarga entre abril y junio dada por el derretimiento de la nieve hasta la finalización del dique en 1968, momento en que las descargas máximas cambian al período de octubre-marzo, reflejando la descarga de agua para la generación hidroeléctrica; c) Hidrograma diario para el período 1945-1957 anterior al cierre del dique; d) Hidrograma diario para el período 1975-1977, posterior al cierre del dique. Un método de restaurar un patrón de caudal natural requiere establecer un nuevo rango de fluctuación entre caudales máximos y mínimos y que el momento del año del caudal máximo sea dentro del rango de variación natural.

escurrimiento de nutrientes aceptables para las distintas regiones de Estados Unidos, reconociendo la variabilidad natural inherente a la disponibilidad local y regional de nutrientes. Las pautas se basan en la Carga Total Máxima Diaria (TMDL, por sus siglas en inglés), un cálculo del monto máximo de un contaminante que un cuerpo de agua puede recibir sin perder los estándares de calidad. Para tener en cuenta las variaciones naturales, se establecen los estándares de calidad de agua para un contaminante dentro de cada región ecológica, sobre la base de comparaciones con aguas relativamente no contaminadas o –si no quedan o quedan pocas aguas no contaminadas en la región- con aguas con el menor nivel de contaminación (Figura 7). Una vez que se establecieron los estándares, se definen las prácticas de manejo necesarias para reducir las entradas de contaminantes indeseados.

Otra fuente importante de contaminación difusa es la deposición atmosférica de nitrógeno y otros contaminantes que caen como lluvia ácida o deposición seca. Esto puede ser reducido mediante controles más rigurosos de las emisiones de sulfuro, nitrógeno, metales y toxinas orgánicas, y a través

del desarrollo y aplicación de tecnologías de transporte automotor y de producción de energía más eficientes.

DESAFIOS FUTUROS

Los problemas que confrontan los ecosistemas de agua dulce serán intratables si continúan abordándose en forma fragmentaria. Varios programas gubernamentales, tales como el EPA Clean Lakes Program (Programa de la EPA referido a los lagos), la Ley de restauración de humedales e inclusive la Ley de especies amenazadas, exigen acciones para prevenir aspectos específicos de la degradación de los ecosistemas. Pero esos programas tienen un objetivo puntual, dirigidos de un modo efectivo a los síntomas más que a la raíz del problema del deterioro de los ecosistemas acuáticos. El control de la contaminación es necesario para empezar, pero es insuficiente para mantener una comunidad de especies nativas si el caudal de agua no está disponible en el momento justo, si el curso ha sido severamente degradado o si se permitió el establecimiento de especies invasoras. Las

RECUADRO 3: LOS ECOSISTEMAS DE LOS GRANDES LAGOS

Los Grandes Lagos -Superior, Michigan, Huron, Erie y Ontario- contienen 20 billones de metros cúbicos de agua dulce, aproximadamente el 18 por ciento de la provisión de agua dulce del planeta. En la totalidad de la cuenca habitan 35 millones de personas, incluyendo el 10 por ciento de la población de Estados Unidos y el 25 por ciento de la población canadiense. Cerca del 25 por ciento de la producción agrícola de Canadá y del 7 por ciento de la producción agrícola de los Estados Unidos se realiza en esta cuenca. Además, los Grandes Lagos proporcionan agua potable para 40 millones de personas y abastecen con 210 millones de metros cúbicos de agua por día para uso municipal, agrícola, e industrial.

Uno de los muchos y serios problemas que afectan a los Grandes Lagos es la pobre calidad del agua, causada por las entradas excesivas de fósforo y nitrógeno. Algunas cuencas de los lagos también contienen concentraciones excesivas de sustancias químicas tóxicas; la destrucción del hábitat ha sido significativa y está aumentando; se han alterado enormemente o reemplazado en forma intencional pesquerías nativas; las especies invasoras han alterado las redes tróficas nativas y la calidad del agua y también dañado infraestructuras humanas; y se espera que el cambio climático altere los niveles de los lagos. Aunque los ambientes de agua dulce de todo el mundo comparten muchos esos problemas, su significancia se ve aumentada por el tamaño total de los Grandes Lagos y por la cantidad y la calidad de sus aguas.

Calidad del agua. La calidad del agua en los Grandes Lagos ha mejorado drásticamente con respecto a las condiciones eutróficas que prevalecieron antes de los años ochenta. Esto se ha logrado gracias a una mayor regulación de las fuentes puntuales de contaminación. Sin embargo, la calidad del agua no se restauró a la "condición natural". Años de enriquecimiento en fósforo en el Lago Michigan, por ejemplo, aumentaron el crecimiento de diatomeas y mermaron las concentraciones de sílice (el sílice es un nutriente necesario para los diatomeas y precipita al fondo del lago cuando estas se mueren). Sin suficiente sílice, el ensamble de algas naturales y el zooplancton que se alimentaba de ellas se han alterado severamente. Hoy, la eutrofización cultural puede estar enmascarada por la actividad filtradora de los mejillones cebra que incrementa la claridad del agua moviendo los nutrientes del seno del agua a los sedimentos del lago. Fuentes difusas de contaminación, que incluyen fertilizantes, pesticidas, sedimentos y bacterias, aún deterioran significativamente la calidad del agua de los Grandes Lagos.

Especies invasoras. Las especies exóticas modificaron los hábitats, redujeron la biodiversidad nativa, y alteraron las redes alimenticias. Se estima que actualmente residen en los Grandes Lagos unas 162 especies exóticas que incluyen peces introducidos para la pesca deportiva. Aunque el mejillón cebra y la lamprea de mar han recibido la mayor atención, muchas otras especies menos notorias afectan el ecosistema profundamente, incluso los mejillones quagga, predadores del zooplancton como *Cercopagis pengoi* y *Bythotrephes cederstroemi*, el anfípodo bentónico *Echinogammarus ischnus*, y el gobio redondo. Además de sus impactos ecológicos, los esfuerzos para controlar la lamprea cuestan 10 millones de dólares anuales, y el control del mejillón cebra totalizó unos 4.000 millones de dólares desde el año 2001.

Sustancias Químicas tóxicas. Los sedimentos en los Grandes Lagos almacenan contaminantes orgánicos e inorgánicos que provienen del escurrimiento industrial, urbano, y agrícola, así como de la deposición atmosférica (incluyendo mercurio y PCBs). Los contaminantes de los sedimentos se acumulan en especies acuáticas, afectando la salud de peces y aves silvestres e incluso la salud de los seres humanos que comen peces contaminados. Los contaminantes también afectan la navegación, la mayor industria en los Grandes Lagos, debido a las potenciales restricciones al dragado de cauces y puertos (el que puede liberar contaminantes al seno del agua), y a la disposición final de los sedimentos dragados.

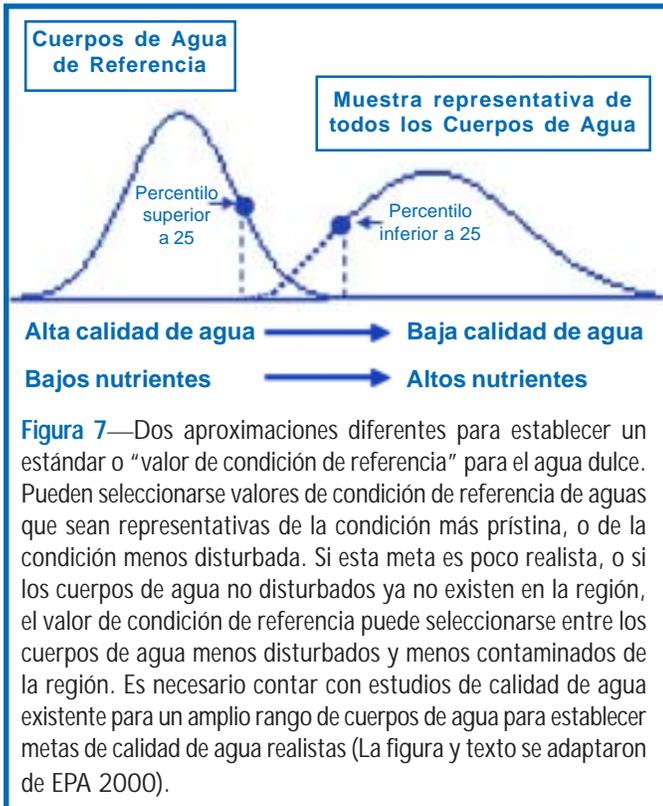
Destrucción del hábitat. Los cambios en el uso de la tierra han producido pérdidas del hábitat a lo largo de la cuenca de los Grandes Lagos. El tejido urbano continúa reemplazando áreas naturales, terrenos para cultivo y espacios abiertos. La calidad y cantidad de humedales costeros están disminuyendo; y la longitud de las líneas costeras artificiales (es decir, reforzadas por tablestacado o escolleras de defensa) se encuentra aparentemente en aumento, aislando de este modo los humedales de los lagos, destruyendo el hábitat y alterando los movimientos naturales de sedimentos.

Cambio climático. Las consecuencias del cambio climático futuro en la región de los Grandes Lagos pueden ser profundas. Algunos modelos de cambio climático sugieren condiciones que llevarán a bajar el nivel de los lagos, generando problemas para la industria de la navegación así como cambios en el suministro de agua y las condiciones medioambientales en los lagos. Los modelos climáticos actuales también hacen pensar en oscilaciones climáticas más extremas y años extraordinariamente húmedos que pueden dar paso a inundaciones periódicas. Es importante notar que los 35 millones de personas que habitan la cuenca de los Grandes Lagos no están preparadas para grandes cambios en el nivel de los lagos en cualquier dirección.

Como ejemplo de integridad del agua dulce, los Grandes Lagos fallan en la mayoría de los ítems: las líneas costeras endurecidas artificialmente afectan la conectividad de los lagos con sus humedales; las condiciones químicas y nutricionales actuales representan un cambio permanente de las condiciones naturales; y los ensambles de plantas y animales han sido muy modificadas por la intervención humana. Ahora se requieren esfuerzos y gastos constantes para mantener la calidad del agua a niveles aceptables, remover el legado de las entradas tóxicas del pasado, controlar las especies exóticas nocivas y reponer peces exóticos codiciados que no se reproducen naturalmente en los lagos para la pesca deportiva. Quizás los Grandes Lagos nunca puedan ser "restaurados" al punto de ser funcionalmente auto-suficientes, y en ello reside una dura lección. Muchos bienes y servicios valorados por la sociedad no están ya disponibles (como pesquerías no contaminadas con toxinas), y otros sólo son posibles a través del gasto continuo de millones de dólares en remediación.



Mejillón cebra, fotografía cortesía USGS.



necesidades de los sistemas acuáticos y las necesidades de la sociedad para abastecerse de agua deben ser tratadas conjuntamente para que la integridad del ecosistema de agua dulce se mantenga o se restaure. Políticamente, esto requiere que las grandes coaliciones de usuarios del agua trabajen juntas hacia un futuro aceptable para todos.

El mejor momento para desarrollar esas coaliciones es antes de que el agua esté asignada y antes de que la crisis ecológica ocurra. En muchas partes del mundo esta oportunidad ya se perdió hace mucho tiempo. El potencial para una restauración total o parcial, sin embargo, continúa. Un ejemplo ambicioso está teniendo lugar en el sur de Florida, en donde las estructuras para el control del agua fueron removidas físicamente y se restringieron las entradas de nutrientes en un intento por promover un sistema más natural (RECUADRO 4). Otros proyectos de restauración a lo largo de los Estados Unidos también se muestran promisorios.

Las consecuencias ecológicas que surgen cuando los ecosistemas de agua dulce se ven privados de agua, tanto de caudal suficiente en el momento adecuado como de calidad satisfactoria, a menudo son percibidas por la gente sólo después de que la degradación comienza a interferir con los usos que hacen del agua dulce. Los engorrosos florecimientos de algas y la pérdida de pesquerías comerciales o deportivas son ejemplos de malogramientos del ecosistema cuyos procesos a menudo tardaron años en desarrollarse. Algunos ecosistemas experimentan naturalmente amplias oscilaciones en las condiciones ambientales y ecológicas de un año a otro, lo que puede enmascarar cambios graduales en los factores físicos y químicos. La mayoría de los sistemas son inherentemente resilientes a un patrón particular de disturbios, y las comunidades

de plantas y animales que los componen persisten en la medida en que las condiciones fluctúan dentro de cierto rango. Sin embargo, una vez que se alcanza un umbral, estos ecosistemas pueden cambiar rápidamente a un nuevo estado estable, situación que resulta muy difícil de revertir. El colapso de una pesquería y la eutrofización cultural permanente a través de la entrada de nutrientes, son dos ejemplos de condiciones que, una vez alcanzadas, hacen muy difícil restaurar la integridad del sistema de agua dulce. Para detectar esas tendencias antes de que los problemas se hagan críticos es necesario por un lado monitorear las condiciones físicas y biológicas del ecosistema de agua dulce y por el otro comprender la dinámica ecológica natural de esos sistemas.

HACIENDO UN BALANCE ENTRE EL USO HUMANO Y LAS NECESIDADES DE LOS ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE

El mejor modo de garantizar la sustentabilidad de los ecosistemas acuáticos es manteniendo la variabilidad natural de los caudales, la entrada adecuada de sedimentos y materia orgánica, las fluctuaciones naturales de calor y luz, el agua limpia y la diversidad natural de las comunidades de plantas y animales. Los fracasos en la provisión de estos requerimientos esenciales, tienen como resultado la pérdida de especies y de los servicios que el ecosistema proporciona al ser humano en humedales, ríos y lagos. Los ecosistemas acuáticos pueden ser protegidos o restaurados reconociendo lo siguiente:

1. Los ecosistemas acuáticos no son simplemente cuerpos aislados o conductos sino que están estrechamente conectados con el ambiente terrestre. Más aún, los ecosistemas acuáticos están conectados entre sí y proporcionan vías de migración esenciales para las especies.

2. Los patrones dinámicos de caudales que se mantienen dentro del rango histórico de variación van a promover la integridad y sustentabilidad de los sistemas de agua dulce.

3. Los ecosistemas acuáticos requieren además que las cargas de sedimentos, las condiciones de calor y luz, las entradas de nutrientes y de sustancias químicas y las poblaciones de plantas y animales fluctúen dentro de los rangos naturales, sin experimentar

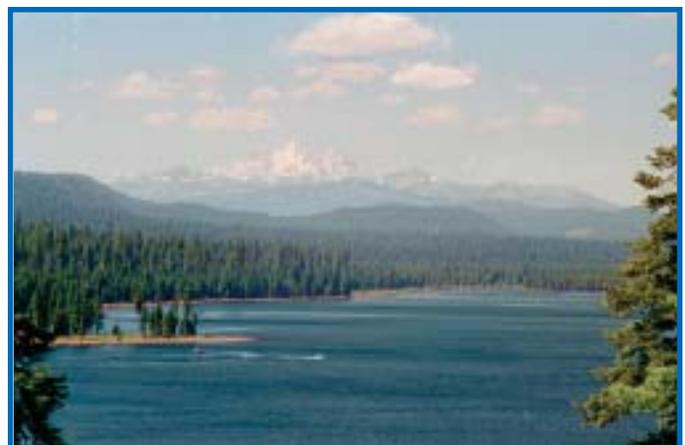


Figura 8—Incluso los lagos aislados están conectados con el terreno y el agua de alrededor a través del flujo de agua dulce. Fotografía cortesía de J. Boles, California Department of Water Resources.

RECUADRO 4: RESTAURANDO ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE EN EL SUR DE FLORIDA

El ecosistema del Sur de Florida cubre aproximadamente 47.000 kilómetros cuadrados y va desde Orlando en el norte de Florida Keys hasta el extremo sur. Incluye el Río Kissimmee, el Lago Okeechobee, los Everglades (una zona pantanosa al Sur de Florida), y la bahía de Florida. El paisaje es esencialmente plano; el desnivel entre el Lago Okeechobee y la Bahía de Florida, una distancia de 160 kilómetros, es de menos de 6 metros. El Sur de Florida ha sufrido cambios enormes en las poblaciones, en el uso de la tierra, y en la hidrología durante los últimos 100 años, produciendo cambios profundos en la estructura y el funcionamiento del ecosistema. Desde comienzos de 1900, se hicieron esfuerzos para drenar los humedales de Everglades, que eran vistos como terrenos baldíos y pantanos inútiles. Los huracanes y las inundaciones promovieron proyectos masivos de manejo del agua. Ahora hay más de 2.500 kilómetros de malecones y canales, 150 esclusas y otras estructuras de control del agua y 16 estaciones maestras de bombeo. El sistema de control de inundaciones ha funcionado notablemente bien, haciendo la región menos vulnerable a los extremos de inundaciones y sequías, a través del almacenado de agua para abastecimiento y el movimiento de la misma para el control de inundaciones. Estos proyectos de manejo se diseñaron en los años cincuenta cuando se anticipaba que la población de la región alcanzaría los 2 millones hacia el año 2000. Sin embargo, la región alberga hoy más de 6 millones de personas. Más significativo aún, los proyectos de agua no se diseñaron teniendo en mente la protección ambiental ni la intensificación de los procesos.

Los problemas ambientales involuntariamente creados por estos proyectos de manejo del agua incluyen:

- (1) Más de 6.400 millones de litros de exceso de agua de lluvia se encauzan diariamente hacia el océano para proteger tierras urbanas y agrícolas de las inundaciones, causando desequilibrios de salinidad en los estuarios e influyendo en las comunidades de plantas y animales.
- (2) El lago Okeechobee es tratado como un depósito para abastecimiento de agua o control de inundaciones en lugar de ser tratado como un lago natural.
- (3) Se han alterado el abastecimiento de agua y la periodicidad para los Everglades, perjudicando enormemente la biota.
- (4) Y la calidad del agua se ha deteriorado a lo largo de toda la región.

La eutroficación acelerada del Lago Okeechobee, debida al escurrimiento de fósforo asociado al funcionamiento de tambos y ganadería vacuna de engorde, por ejemplo, ha cambiado la composición de algas, de invertebrados y de las comunidades de plantas superiores, y por consiguiente ha cambiado la red trófica. El enriquecimiento en fósforo proveniente de los terrenos con caña de azúcar al norte de los Everglades, ha cambiado la estructura y biomasa de la comunidad del perifiton (los organismos que crecen sobre substratos sumergidos) mientras que ha hecho crecer la espadaña a expensas de los juncuales altos de *Cladium jamaicense*. Aumentos o disminuciones en la descarga de agua dulce a los estuarios influyeron en los patrones naturales de salinidad de estos sistemas, afectando la abundancia de pastos de mar, ostras, y las comunidades de peces. La canalización del Río Kissimmee causó la pérdida de 11.000 hectáreas del hábitat típico de las planicies de inundación.

Aproximadamente la mitad de los Everglades históricos se ha transformado para uso agrícola o urbano. Las poblaciones de pájaros vadeadores se han reducido un 85 a 90 por ciento. Sesenta y ocho especies de plantas y animales están amenazadas o en peligro de extinción en el Sur de Florida, y especies invasoras como la melaleuca o cayeputi, el pimentero del Brasil (*Schinus terebinthifolius*), el pino australiano, el "torpedo grass" (*Panicum repens*), el helecho trepador del Viejo Mundo (*Lygodium microphyllum*) y la anguila del pantano asiática están amenazando hábitats y especies nativos.

Aunque no es posible restaurar esta región a su condición prístina, los esfuerzos apuntan a rediseñar el ambiente acuático del Sur de Florida para hacerlo más compatible con la manera en que el sistema funcionaba originalmente. El congreso ha consolidado esfuerzos para desarrollar el "Comprehensive Everglades Restoration Plan", un plan de restauración que con un compromiso ambicioso e innovador apunta a intensificar los valores ecológicos y económicos de la región así como el bienestar de su población humana. Los objetivos son aumentar la cantidad de agua disponible almacenándola en lugar de mandarla al mar, asegurar una calidad adecuada del agua, y reconectar las partes de este ecosistema que fueron desconectadas y fracturadas. Se ha propuesto una aproximación multifacética que puede tomar 25 años o más para implementarse.

Las metas ecológicas del plan son aumentar la extensión de áreas naturales, mejorar la calidad y funcionalidad del hábitat, y aumentar la riqueza de especies nativas y la biodiversidad. El éxito se evaluará con criterios cuantitativos. Por ejemplo, una meta para el Lago Okeechobee es reducir el fósforo total en el seno del agua desde una concentración actual de 110 µg/l hasta 40 µg/l. Los programas rigurosos de investigación científica continuarán a lo largo de la aplicación del proyecto para abordar las principales incertidumbres. La información generada, combinada con los resultados de redes de monitoreo, se usará para el manejo adaptativo del plan de restauración.



Las entradas y los trabajos de distribución del agua del STA 1 (siglas en inglés de "stormwater treatment area" o área de tratamiento de aguas de tormenta,) que es un humedal ampliamente construido donde se está tratando el agua de escorrentía de los campos de la caña de azúcar antes de entrar en los Everglades. Foto de los archivos del South Florida Water Management District.

excesivas oscilaciones más allá de los rangos históricos ni mantenerse a niveles constantes, lo que sería una condición igualmente artificial.

Exponer estos requerimientos para mantener la integridad de los ecosistemas acuáticos no es lo mismo, desde ya, que implementarlos en el contexto de las complicaciones sociales actuales. La política de agua de Estados Unidos tolera actualmente el aumento en la explotación del agua para poder responder a las demandas humanas. Las políticas para el mantenimiento de calidad de agua y de los caudales están basadas principalmente en las necesidades sanitarias humanas. Sin embargo la época de la explotación continuamente creciente ha terminado. Debemos empezar por redefinir el uso del agua basándonos en el reconocimiento de que el abastecimiento de agua es limitado y que los ecosistemas de agua dulce deben mantenerse saludables o ser restaurados. Por esas razones ofrecemos las siguientes recomendaciones de cómo el agua debe ser considerada y manejada:

1. Incorporar las necesidades de los ecosistemas de agua dulce (particularmente la de tener patrones de variación de caudal naturales) en las políticas nacionales y regionales de manejo del agua, junto con la preocupación sobre la calidad y cantidad del agua.

Debido a que la mayoría de las decisiones sobre el uso de la tierra y el agua se realizan localmente, nosotros recomendamos facultar a los grupos y comunidades locales para que implementen políticas de uso sustentable del agua. En concordancia, un elevado y creciente número de comunidades de diferentes cuencas se están moviendo en esa dirección con el apoyo y la guía del estado y de las agencias federales. Flexibilidad, innovación, e incentivos tales como la suspensión de impuestos, licencias de desarrollo, apoyos para la conservación y créditos de contaminación son herramientas efectivas para alcanzar el objetivo del uso sustentable del ecosistema de agua dulce.

2. Definir los recursos de agua incluyendo las cuencas de modo de que el agua dulce sea vista dentro del contexto de un sistema o paisaje.

Muchos de los problemas relacionados con los ecosistemas de agua dulce provienen de afuera de los ríos, los lagos y los humedales en sí mismos. Las leyes y las regulaciones se han quedado atrás en el reconocimiento de este hecho. Un lugar para iniciar un cambio es a través del proceso de permisos gubernamentales existentes. Las solicitudes a la Federal Energy Regulatory Commission para la renovación de diques hidroeléctricos, la solicitud de permisos al Army Corps of Engineers para las operaciones de dragado y llenado bajo la Ley de agua limpia, Art. 404, y los permisos de uso de la tierra y descarga de efluentes solicitados al estado, condado o entidades locales, representan oportunidades ideales para integrar las necesidades del ecosistema con los usos tradicionales del agua. El Programa TMDL de la EPA es un esfuerzo por resolver la contaminación puntual y difusa de un cuerpo de agua proveniente de una cuenca, a pesar de que el programa aún no ha sido completamente implementado. Además debería ser redefinido para considerar cómo la variabilidad del caudal influye en el transporte de los contaminantes.

3. Aumentar la comunicación y la educación entre disciplinas.

El entrenamiento y la experiencia interdisciplinaria, particularmente para ingenieros, hidrólogos, economistas y ecólogos, puede originar una nueva generación de administradores de agua y usuarios que

piensen en el agua dulce como un sistema con propósitos ecológicos, junto con las funciones de suministrar agua.

4. Aumentar los esfuerzos de restauración de los humedales, los lagos y los ríos usando los principios ecológicos como guías.

A pesar de que se realizaron algunas restauraciones, se requiere un mayor esfuerzo para restaurar la integridad ecológica del recurso agua de los Estados Unidos. El objetivo de la restauración debería ser reinstaurar las variaciones naturales en los factores ambientales fundamentales identificados arriba. Sin embargo, muchos proyectos de restauración, especialmente para humedales, sólo se centraron en la revegetación, ignorando los procesos hidrológicos, geomorfológicos, biológicos y químicos subyacentes. Esfuerzos de restauración altamente visibles pero sin embargo ecológicamente incompletos como los proyectos de revegetación de humedales, podrían incluso generar complacencia en el público. Recientemente, un sondeo de la pública reciente mostró que los norteamericanos están cada vez más satisfechos con los esfuerzos de protección ambiental de su nación, haciéndolos menos propensos a mantener los fondos y los esfuerzos políticos necesarios para estatuir los requerimientos genuinos de la restauración ecológica. En cualquier sistema de agua dulce dado, el alcance de la restauración y la protección que eventualmente se emprenda deberá ser ampliamente debatido porque el manejo activo es inherentemente un proceso social, aunque, idealmente, informado por la ciencia. Los esfuerzos de restauración pueden abarcar un espectro de objetivos, desde una recuperación casi completa de las especies y las condiciones ambientales nativas, hasta el manejo de las comunidades dinámicas, biológicamente diversas, que no necesariamente se parezcan a las del ecosistema nativo.

5. Mantener y proteger los ecosistemas de agua dulce mínimamente deteriorados restantes.

Aldo Leopold dijo "Si la biota, durante eras, construyó algo que nos gusta pero que no entendemos, entonces ¿quien sino un loco desearía las partes que parecen inútiles?"

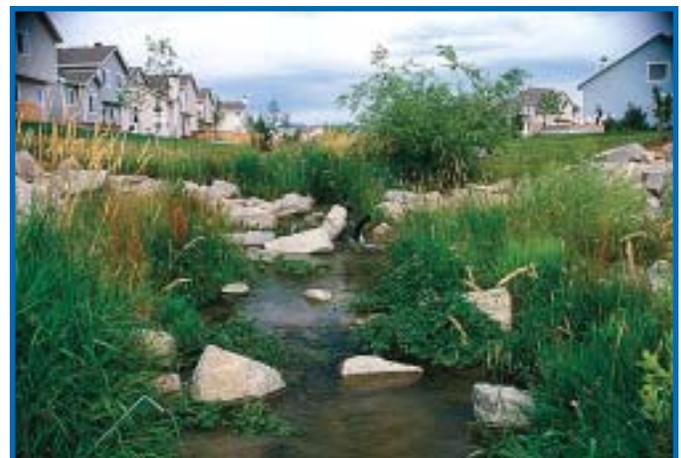


Figura 9—Arroyo urbano en Denver, Colorado. Fotografía cortesía del U.S. Geological Survey, South Platte National Water Quality Assessment Program (NAWQA).

Conservar cada engranaje y cada rueda es la primer precaución de un remendón inteligente". Muchos proyectos de restauración fracasan en reestablecer el funcionamiento del ecosistema una vez que los procesos principales han sido disturbados. Es mucho más sabio y más barato conservar lo que tenemos. Es más, nuestros ecosistemas funcionalmente intactos restantes pueden suministrar las plantas y animales colonizadores para los proyectos de restauración en otra parte.

6. Traer el concepto de ecosistema a casa.

Lograr la sustentabilidad ecológica requiere que lleguemos a reconocer la interdependencia de la gente con el ambiente del que forman parte (Figura 8). Para el agua dulce, eso requiere un reconocimiento amplio de las fuentes y los usos del agua para las necesidades de la sociedad, y las ecológicas. También va a requerir una visión a más largo plazo de los procesos relacionados con el agua. Los sistemas de reparto de agua, e incluso los diques, se diseñaron con una proyección temporal de décadas, o a lo sumo una centuria al igual que las recomendaciones de manejo. Los ecosistemas de agua dulce evolucionaron por eras, y su sustentabilidad debe ser considerada desde una perspectiva a largo plazo. Las políticas de gobierno, los medios masivos y la economía de mercado se focalizan en los beneficios a corto plazo. Los programas educativos desde los jardines maternos hasta el colegio secundario, las iniciativas individuales para estar informado y los esfuerzos de las comunidades locales de las cuencas interesadas en proteger sus recursos naturales pueden proporcionar los primeros pasos correctos hacia una responsabilidad permanente. Esos pasos deben estar acompañados por el reconocimiento estatal y nacional de que las necesidades humanas fundamentales de agua futuras sólo se podrán satisfacer a través de políticas que preserven hoy la integridad y el funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce.

CONCLUSION

Los ecosistemas de agua dulce han sido descriptos como "un capital ecológico (que es) desproporcionadamente rico y (que está) desproporcionadamente en peligro". Necesitan no estar tan amenazados. A través del reconocimiento de que los caudales de agua y sedimentos necesitan variar naturalmente y de que las cargas de contaminantes se deben reducir, podemos mantener o restaurar los ecosistemas de agua dulce a un estado sustentable de modo que continúen proporcionando las comodidades y los servicios que la sociedad espera y al mismo tiempo ayudando a las especies acuáticas nativas a prosperar.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación se benefició de la discusión con Neil Grigg, Alan Covich, Rhonda Kranz y Dennis Ojima; y las revisiones de Penny Firth, Lou Pitelka, Stuart Findlay, Steve Carpenter, Pam Matson, Julie Denslow, Judy Meyer y del *Public Affairs Committee of the Ecological Society of America* (el Comité de Relaciones Públicas de la Sociedad Norteamericana de Ecología).

SUGERENCIAS DE LECTURA ADICIONAL

Este informe resume las conclusiones de nuestro panel. Nuestro informe completo, que se publicó en la revista *Ecological Applications*

(Volumen 12, Número 5: 1247-1260), discute y cita extensamente las referencias de la literatura científica primaria en este tema. De esa lista, elegimos algunas que figuran debajo, como ilustración de las publicaciones científicas y compendios sobre los cuales está basado nuestro informe.

- Council on Environmental Quality 1995. Environmental Quality. 1994-1995 Report. Office of the White House, Washington D.C.
- Daily, G.C., ed. 1997. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.
- Environmental Protection Agency 1998. National Water Quality Inventory: 1996 Report to Congress. U.S. EPA EPA841-R-97-008, Washington, D.C.
- Echeverría, J.D., P. Barrow, and R. Roos-Collins. 1989. Rivers at Risk: The concerned citizen's guide to hydropower. 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* 11:1027-1045.
- Naiman, R.J., and M.G. Turner 2000. A future perspective on North America's freshwater ecosystems. *Ecological Applications* 10:958-970.
- National Research Council. 1992. Restoration of aquatic ecosystems: science, technology, and public policy. National Academy Press, Washington, D.C.
- Patten, D.T., and L.E. Stevens, eds. 2001. Restoration of the Colorado River Ecosystem Using Planned Flooding. Invited Feature with six articles. *Ecol. Appl.* 11:633-710.
- Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks, and J.C. Stromberg. 1997. The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47:769-784.
- Postel, S.L., G.C. Daily, and P.R. Ehrlich, 1996. Human appropriation of renewable fresh water. *Science* 271:785-788.
- Solley, W.G., R. Pierce, and H.A. Perlman. 1998. Estimated use of water in the United States, 1995. U.S. Geological Survey Circular #1200. Denver, CO.
- Stallard R.F. 1998. Terrestrial sedimentation and the carbon cycle: coupling weathering and erosion to carbon burial. *Glob. Biogeochem. Cyc.* 12:231-257.
- State of the Great Lakes. 2001. State of the Great Lakes 2001. Environment Canada and United States Environmental Protection Agency. EPA 905-R-01-003.
- Stein, B.A., and S.R. Flack. 1997. 1997 Species Report Card: the state of US plants and animals. The Nature Conservancy, Arlington, VA.
- Steinman, A.D., K.E. Havens, and L. Hornung. 2002. The managed recession of Lake Okeechobee, Florida: integrating science and natural resource management. *Conservation Ecology* 6:17. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol6/iss2/art17>.
- U.S. Department of Interior, National Park Service. 1982. The Nationwide Rivers Inventory. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Van der Leeden, F., F.L. Troise, and D.K. Todd, eds. 1990. The Water Encyclopedia, 2nd edition. Lewis Publishers, Chelsea, MI.

ACERCA DEL PANEL

Este informe presenta el consenso alcanzado por un panel de diez científicos que representan una amplia variedad de juicios expertos en esta área. Este informe fue sometido a revisión por pares y fue

aprobado por el Comité Editorial de *Issues in Ecology* (Tópicos en Ecología). Las instituciones de pertenencia de los miembros del panel de científicos son:

- Jill S. Baron, Directora del Chair, U.S. Geological Survey, Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523
 N. LeRoy Poff, Co-Director del Panel, Department of Biology, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523
 Paul L. Angermeier, U.S. Geological Survey, Virginia Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061
 Clifford N. Dahm, Department of Biology, University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131
 Peter H. Gleick, Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, 654 13th Street, Oakland, CA 94612
 Nelson G. Hairston, Jr., Department of Ecology and Evolutionary Biology, Cornell University, Ithaca, NY 14853
 Robert B. Jackson, Department of Biology and Nicholas School of the Environment, Duke University, Durham, NC 27708
 Carol A. Johnston, Center for Biocomplexity Studies, South Dakota State University, Brookings, SD 57007
 Brian D. Richter, The Nature Conservancy, 490 Westfield Road, Charlottesville, VA 22901
 Alan D. Steinman, Annis Water Resources Institute, Grand Valley State University, 740 W. Shoreline Drive, Muskegon, MI 49441

Acerca de la Periodista Científica

Yvonne Baskin, periodista científica, editó el informe del panel de científicos para permitir que el mismo comunicara de un modo efectivo sus conclusiones al público no científico.

Acerca de los *Issues in Ecology* (Tópicos en Ecología)

Los *Issues in Ecology* se diseñaron para comunicar, en un lenguaje comprensible para un público no científico, el consenso de un panel de científicos expertos en temas relevantes para el medio ambiente. Los *Issues in Ecology* son financiados por el programa "Pew Scholars in Conservation Biology" concedido a David Tilman y por la *Ecological Society of America* (Sociedad Norteamericana de Ecología). Todos los informes se someten a revisión por pares y deben ser aprobados por el Comité Editorial antes de su publicación. Los editores y la editorial, la *Ecological Society of America*, no se hacen responsables de las opiniones vertidas por los autores en las publicaciones de la ESA.

Comité Editorial de *Issues in Ecology*

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

Miembros del Comité

- Dr. Stephen Carpenter, Center for Limnology, University of Wisconsin, Madison, WI 53706
 Dr. Ann Kinzig, Department of Biology, Arizona State University, Tempe, AZ 85287-1501.
 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
 Dr. David Wilcove, Woodrow Wilson School of Public and International Affairs, Princeton University, Princeton, NJ 08544-1013.

Informes anteriores

Los *Issues in Ecology* anteriores están disponibles en la *Ecological Society of America* e 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. Hidingier, 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. 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.
 Jackson, R., S. Carpenter, C. Dahm, D. McKnight, R. Naiman, S. Postel, and S. Running. 2001. Water in a Changing World, *Issues in Ecology* No. 9.

Copias Adicionales

Para recibir copias adicionales de este informe (US\$3 cada una) o de *Issues in Ecology* anteriores, por favor contactar a:

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 disponible también en forma electrónica en: <http://www.esa.org/sbi/issues.htm>.

Traducción de Este Número

María Laura Yahdjian, IFFEVA - Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires, Av San Martín 4453, Buenos Aires C1417DSE, Argentina
 Reviewers: Rodolfo Golluscio and Victor Jaramillo

Acerca de los *Issues in Ecology* (Tópicos en Ecología)

Los *Issues in Ecology* se diseñaron para comunicar, en un lenguaje comprensible para un público no científico, el consenso de un panel de científicos expertos en temas relevantes para el medio ambiente. Los *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). Se publican a intervalos irregulares, en la medida en que los informes se completan. Todos los informes se someten al sistema de "revisión por pares" (otros expertos) y deben ser aprobados por el Comité Editorial antes de su publicación. Los editores y la editorial, la *Ecological Society of America*, no se hacen responsables de las opiniones vertidas por los autores en las publicaciones de la ESA.

Los *Issues in Ecology* son una publicación oficial de la *Ecological Society of America* (la Sociedad Norteamericana de Ecología), la principal sociedad nacional de ecólogos profesionales. Fundada en 1915, la ESA tiene como meta promover la aplicación responsable de los principios ecológicos a la solución de los problemas ambientales. Para obtener más información, comunicarse con la Ecological Society of America, 1707 H Street, NW, Suite 400, Washington, DC, 20006. ISSN 1092-8987

