



Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci). EISSN: 2215-3896.

Junio, 2001. Vol 21(1): 47-59.

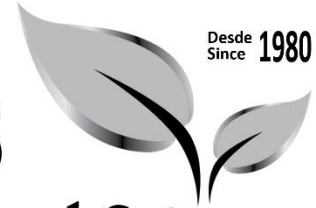
DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/rca.21-1.8>

URL: [www.revistas.una.ac.cr/ambientales](http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales)

EMAIL: [revista.ambientales@una.cr](mailto:revista.ambientales@una.cr)

Ger Bergkamp Rocío Córdoba

# Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



## Funcionamiento de ecosistemas de agua dulce: clave para la gestión sostenible del recurso hídrico

Operation of freshwater ecosystems: key to the sustainable management of water  
resources

*Ger Bergkamp, Mike Acreman, Rocío Córdoba Enrique Lahmann*



Los artículos publicados se distribuyen bajo una Creative Commons Reconocimiento al autor-No comercial-Compartir igual 4.0 Internacional (CC BY NC SA 4.0 Internacional) basada en una obra en <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada (*post print*) del artículo, siempre y cuando se realice sin fines comerciales y se mencione la fuente y autoría de la obra.

*After identifying the current problematic and management modes of the water resource, elementary functions of fresh water ecosystems are characterized in relation to such a resource. Considering the ecosystems as important water users, upon which they depend, a management focus based on ecosystems that warrant the existence of water resources and their functionality is proposed and, consequently, of goods and services that they provide. Such a focus, that aims to satisfy human needs for fresh water, conserving water and biological process, and the indispensable biodiversity for the functioning of the ecosystems, is based on four principles: improving the value of water resources and functions of the ecosystems, strengthening capacities to manage water resources at different levels, improving the communication by way of establishment of associations and redirecting policies and planning according to a fair distribution of costs, benefits, and rational use practices.*

Luego de identificar la problemática y el modo de gestión actuales del recurso hídrico, se caracteriza las cruciales funciones de los ecosistemas de agua dulce de cara a tal recurso. Considerando los ecosistemas como usuarios importantes de agua, de la que dependen, se propone un enfoque de gestión basada en ecosistemas que garantice la existencia de los recursos hídricos y el funcionamiento de aquéllos, y, en consecuencia, de los bienes y servicios que brindan. Tal enfoque, que apunta a poder satisfacer las necesidades humanas de agua dulce conservando los procesos hidrológicos y biológicos y la biodiversidad indispensables para el funcionamiento de los ecosistemas, en su práctica se basa en cuatro principios: mejorar la valoración de los recursos hídricos y de las funciones de los ecosistemas, fortalecer las capacidades para gestionar los recursos hídricos en diferentes niveles, mejorar la comunicación mediante el establecimiento de asociaciones y readecuar las políticas y la planificación en función de una distribución equitativa de costos y beneficios y prácticas razonables de utilización.

## Funcionamiento de ecosistemas de agua dulce: clave para la gestión sostenible del recurso hídrico

Por Ger Bergkamp, Mike Acreman, Rocío Córdoba y Enrique Lahmann

Los autores, biólogos, son: G. Bergkamp, investigador del Programa de Humedales y Recursos Hídricos de la UICN (sede de Suiza); M. Acreman, investigador del Instituto de Hidrología del Reino Unido; R. Córdoba, coordinadora del Programa de Humedales de la Oficina Regional para Mesoamérica de UICN, y E. Lahmann, director de esta misma oficina.

**M**undialmente son reconocidos el valor económico del agua para usos domésticos, agrícolas e industriales, y el valor económico de los bienes que ella hace posibles -como la pesca-. Por eso, las estrategias de gestión de agua dulce han solido dirigirse a la conservación del suministro de la misma y de tales bienes. Hasta los años ochenta, los enfoques para asegurar la disponibilidad de agua y de los bienes asociados se centraron sobre todo en subsectores y se definían según la oferta, con escasa consideración de la competencia existente por recursos escasos entre diferentes usuarios. El reciente enfoque de *gestión integrada de recursos hídricos* (GIRH), reconociendo lo limitado de aquel enfoque toma en cuenta las interacciones entre todos los componentes del recurso y entre los usuarios del mismo, adoptando una perspectiva intersectorial centrada en la demanda. Hay un consenso creciente en cuanto a que este nuevo enfoque ofrece una salida de la confusión con la que se enfrenta en la actualidad la gestión de recursos hídricos y brinda la posibilidad de desarrollar estrategias para la gestión sostenible de éstos (NEDA 1997, GWP 1997).

La GIRH considera los ecosistemas como usuarios importantes de agua, imprescindible para su conservación y funcionamiento adecuado y que no se puede utilizar para otros fines. Pero aunque eso es ya ampliamente reconocido, al papel vital de los ecosistemas como proveedores y reguladores del recurso hídrico -y de bienes asociados- no se le ha prestado la atención que merece, siendo esto indispensable para la disponibilidad a largo plazo y para la gestión sostenible del mismo (Laanbroek *et al.* 1996, UICN 2000).

A continuación se analiza la relación entre el funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce y los bienes y servicios que brindan y se propone un *enfoque de gestión basada en ecosistemas* -centrado éste en el funcionamiento de ecosistemas y la gestión sostenible de recursos, bienes y servicios que proporcionan, y basado en cuatro componentes: monitoreo de recursos, fortalecimiento de capacidades, mejoría de la comunicación y, finalmente, adaptación del proceso de planificación y de la política-.

#### Funciones y valores de los ecosistemas basados en el agua

Las personas necesitan agua para beber, para cultivar y preparar alimentos y para suministrar energía para uso doméstico e industrial.

Éstos son los usos directos y obvios del agua y quienes formulan políticas se han visto tradicionalmente compelidos a gestionar el agua de modo que se abastezca a las personas para poder lograr dichos fines. Ante el crecimiento sin precedentes de la población mundial (de 2,8 mil millones en 1955 a 5,3 mil millones en 1990), y ante la proyección de que para 2025 hasta 1.100 millones de personas sufrirán de grave estrés de agua (Engleman y LeRoy 1993, Falkenmark 1989), no causa extrañeza que los gobiernos y los gestores de recursos hídricos procuren constantemente maximizar el volumen de agua disponible para uso directo.

Como consecuencia de ello, los planes tradicionales de gestión de recursos hídricos desvían agua de sus depósitos y recorridos originales hacia otros nuevos para suministrársela a personas que la van a utilizar en forma directa; se extrae agua subterránea de sus depósitos en acuíferos; se construyen represas y embalses artificiales para retener agua en lugares adecuados para brindar a grandes poblaciones energía y agua; se dragan canales fluviales, se rectifica su trazado para hacerlo más rectilíneo, se aíslan de sus llanuras inundables y humedales; se eliminan bosques en vertientes fluviales con el fin de acelerar la velocidad del agua a través del paisaje hacia los puntos de consumo, y, en algunos casos, se canaliza el agua con tanta eficiencia para su uso directo que los ríos se secan antes de desembocar en el mar.

Dada la necesidad de agua que tiene la sociedad para destinarla a la agricultura, la industria y los servicios domésticos, y dados los intentos muy exitosos de canalizarla para satisfacer la demanda, podría parecer extravagante y despilfarradora la idea de que debiera utilizarse agua para sustento de ecosistemas en lugar de extraerla para sostén de personas. Permitir que el agua de lluvia "se escape" hacia acuíferos subterráneos, que el suelo la absorba y que los bosques la asimilen y devuelvan hacia la atmósfera podría parecer que es una mala gestión de los recursos hídricos. De hecho, como poseedores y consumidores de agua, el paisaje, las plantas y los animales pueden parecer competidores directos de las personas en cuanto al uso del agua. Sin embargo, si bien es cierto que los ecosistemas pueden retener agua, por ejemplo en humedales y acuíferos, y que las plantas y animales consumen agua que luego las personas no pueden utilizar en forma directa, "gastar" agua de esta manera puede proporcionar mayores beneficios a las personas por unidad-volumen que los que les proporciona la utilización directa para agricultura, industria o usos domésticos.

¿Cómo ceder agua al “ambiente” puede proporcionar beneficios a las personas? ¿Cómo puede la sociedad sopesar estos beneficios en comparación con los que proporcionan los usos agrícola, industrial y doméstico? ¿Cómo puede la sociedad escoger una estrategia de cesión que consiga los beneficios máximos para la cantidad máxima de personas en un período máximo de tiempo?

El primer paso es valorar los beneficios “no tangibles” que les proporciona a las personas el ambiente que necesita agua para sustentarse. Al retener o consumir agua, los ecosistemas mantienen procesos hidrológicos y biológicos que determinan cómo va a funcionar el ambiente. La forma en que funciona éste determina qué servicios proporciona a las personas. Para explicar cuáles son estos procesos, bienes y servicios, describiremos cómo “utilizan el agua” los ecosistemas y, a cambio, qué beneficios proporciona el ambiente a las personas, tanto en términos de recursos hídricos como de bienes y servicios.

### Proveedores de recursos hídricos y de funciones clave

El agua constituye un elemento esencial para la conservación de la vida en la Tierra. En su desplazamiento desde las montañas hacia el mar, se van utilizando partes de la misma para sustentar los diversos ecosistemas y mantenerlos funcionando. A cambio de este consumo de agua, los procesos hidrológicos y biológicos de los ecosistemas hacen que éstos cumplan funciones sociales importantes en la vertiente y globalmente.

Las funciones de los ecosistemas se definen como “la capacidad de procesos naturales y de componentes de sistemas naturales o seminaturales de proporcionar bienes y servicios que satisfacen necesidades humanas (directa o indirectamente)” (De Groot 1992). En general, las funciones de los ecosistemas se agrupan en cuatro categorías (según De Groot 1992): funciones de regulación, funciones de hábitat, funciones de producción y funciones de información.

#### *Proveedores de regulación*

Los ecosistemas funcionan como reguladores tanto de la cantidad de agua como de su calidad. Se sabe que hay varias clases de ecosistemas que actúan como amortiguadores al absorber agua para impedir inundaciones y liberarla en tiempos de sequía. Con la provisión de este servicio se incrementa la cantidad de agua y se protege de inundaciones y sequías a las comunidades río abajo. Por ejemplo, los

bosques nubosos en el Parque Nacional La Tigra (Honduras) mantienen un caudal bien regulado de agua de buena calidad durante todo el año, y proveen más del 40% del abastecimiento de agua para la capital (Acreman y Lahmann 1995). En una forma algo diferente, los ecosistemas de humedales pueden disminuir tasas de caudal hídrico para almacenar agua por encima de la capa de agua circundante. La vegetación y la hidrología permiten que el ecosistema del humedal funcione como una esponja y proporcione los servicios de prevención de inundaciones y de almacenamiento de agua. El valor de estos servicios puede llegar a ser considerable. A menudo las alternativas técnicas para regular la cantidad de caudal resultan mucho más caras. La ciudad de Nueva York, por ejemplo, gasta el 10% de los costos de construcción de plantas de tratamiento de agua (\$7 mil millones) en la protección de los procesos biológicos e hidrológicos de las partes superiores de la vertiente de la que depende su suministro de agua (Abramovitz 1997).

Los ecosistemas también regulan la cantidad de los recursos hídricos al capturar agua para luego liberarla hacia la atmósfera. Un árbol de bosque lluvioso, por ejemplo, puede bombear 2,5 millones de galones de agua hacia la atmósfera en el curso de su vida (Ehrlich y Ehrlich 1992), la mayor parte de la cual se recicla y no se pierde. En el bosque lluvioso del Amazonas, el 50% de las precipitaciones pluviales proceden de la evaporación local. Una vez se elimina la cubierta forestal en una zona, ésta se puede volver más caliente y más seca porque ya no existe el ciclo hídrico entre plantas y atmósfera, lo cual puede conducir a un ciclo positivo de desertificación, con una pérdida creciente de recursos hídricos locales (Gash *et al.* 1996).

Los resultados de simulaciones computarizadas han confirmado que estos ciclos de retroalimentación desempeñan un papel importante en la determinación del clima local. Un modelo simulado global de circulación predijo que si el bosque tropical y la sabana del Amazonas se reemplazaran con pastizales, las consecuencias climatológicas incluirían un ciclo hidrológico debilitado, menos precipitación (-26%) y evaporación y un aumento en la temperatura de la superficie debido a cambios en albedo y rugosidad (Shukla *et al.* 1990, Lean y Warrilow 1989). De igual modo, un modelo de eliminación de vegetación natural en la región del Sahel de África predice que las precipitaciones disminuirían en un 22% entre junio y agosto y que la estación lluviosa se demoraría medio mes (Xue y Shalda 1993). Estos dos

ejemplos muestran los ecosistemas forestales como sistemas de reciclaje de agua. A cambio del agua que utilizan, proporcionan el servicio de regular el clima local y el global y de conservar los recursos locales de agua.

Los ecosistemas no sólo regulan la cantidad del caudal de agua sino también la calidad del agua que fluye. En terrenos inclinados, por ejemplo, la vegetación amarra la tierra e impide que se vea arrastrada hacia el curso de agua donde produciría encenegamiento y nutrición y disminuiría la penetración de la luz, lo cual reduciría la calidad del agua, la salud de los ecosistemas acuáticos y la conveniencia del agua para acuicultura y otros usos. La estructura física de los cursos de agua y los organismos que los habitan también regulan la calidad del agua. Por ejemplo, las cascadas, los rápidos y la vegetación acuática oxigenan el agua, y las orillas de los ríos, sus lechos y la vegetación atrapan sedimentos. Estos procesos hidrológicos y biológicos permiten que el curso de agua funcione como una unidad de purificación de agua que proporciona agua dulce.

A los ecosistemas de humedales de agua dulce también se los conoce como reguladores importantes de la calidad del agua. Dentro de dichos sistemas, tanto los procesos de descomposición como la invasión de vegetación eliminan toxinas y nutrientes excesivos (Baker y Maltby 1995). Como los humedales retienen agua por largos períodos de tiempo, los procesos de descomposición y la vegetación disponen de tiempo suficiente para eliminar nutrientes y toxinas del agua. Los sistemas de humedales costeros, como las marismas salubres y los manglares, también actúan como amortiguadores y reguladores de la calidad del agua (Koch *et al.* 1992), y proporcionan una zona de amortiguación entre el agua marina y dulce, en tanto que la vegetación elimina sedimentos y nutrientes del agua dulce antes de que fluya hacia el mar. Este proceso permite que el humedal costero actúe como un último filtro del agua dulce, proporcionando el servicio de proteger los recursos marinos costeros, como los arrecifes de coral o lechos de hierbas marinas contra la deposición de sedimentos. La vegetación del humedal costero absorbe la energía de los vientos y olas del mar, actuando así como barrera frente a la intrusión de agua salada, inundaciones marinas, daños causados por la erosión y el viento, y protector de recursos costeros terrestres. En reconocimiento de la función protectora del manglar del bosque Sundarbans no eliminado de Bangladesh e India, el gobierno de Bangladesh ha plantado y replantado manglares pa-

ra proteger terraplenes y tierra nueva (Saenger *et al.* 1983). Durante el huracán Mitch ocurrido en 1998 en Centroamérica, las zonas costeras con importante cobertura de manglares en Guatemala y El Salvador sufrieron menos destrucción costera que las áreas descubiertas.

#### *Proveedores de hábitat*

Las llanuras inundables, los humedales, los cursos fluviales y las cabeceras de vertientes son importantes para regular los recursos hídricos. Para conservar el funcionamiento de estos ecosistemas de manera que puedan proporcionar el servicio de regulación se requiere que se mantengan muchos procesos biológicos, que con frecuencia son sumamente complejos y dependen de que dichas áreas permanezcan como hábitats de muchas especies de plantas, peces, aves y otros animales. Los humedales son especialmente importantes para especies acuáticas cuyas crías necesitan tasas bajas de caudal de agua, por lo que los ecosistemas de humedales pueden proporcionar el servicio de conservar la pesca de peces y camarones, lo cual es fundamental particularmente para la región centroamericana donde se producen alrededor de \$750 millones anuales en actividades de pesca que dan trabajo y sustento a más de 450.000 personas en las zonas costeras (Windevoxhel *et al.* 1996).

Las vías fluviales también son hábitats importantes. La vegetación, las riberas y los lechos de vías fluviales silvestres brindan albergue y alimentos a una gran variedad de animales. En contraste con los humedales, las vías fluviales funcionan como hábitat para animales que requieren agua que discurre con rapidez y rica en oxígeno, proveyendo el servicio de conservar la pesca. Juntos, los ecosistemas de agua dulce sustentan una biodiversidad importante: más de 10.000 especies de peces y más de 4.000 de anfibios se han identificado hasta ahora (McAllister *et al.* 1997, WCMC 1992).

Los humedales costeros también son proveedores importantes de hábitat, proporcionando alimento y resguardo a animales marinos que requieren condiciones de agua dulce para parte de su ciclo vital, siendo así hábitat para cangrejos, ostras y camarones y brindando el servicio de sustentar las actividades de pesca de estos bienes. Por ejemplo, el 90% de la captura de peces en el Golfo de México, con un valor de \$700 millones anuales, es de especies que dependen de manglares y humedales costeros de la región en alguna fase de su ciclo vital (Dugan 1990).

### *Proveedores de recursos*

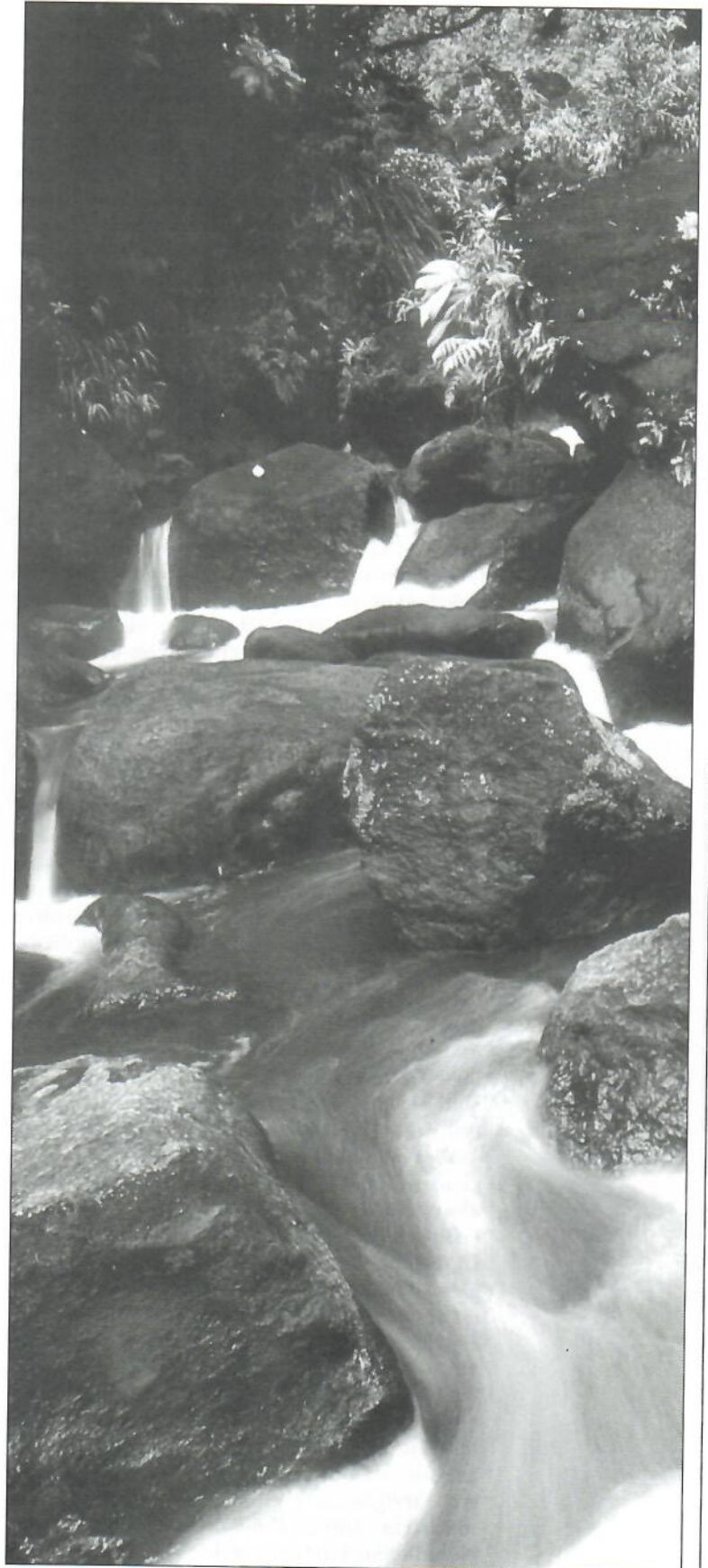
Muchos ecosistemas basados en el agua proporcionan grandes cantidades de agua, alimento y energía (para consumo humano directo, agricultura, pesca, abreviar ganado, industria y producción de energía). El suministro de agua en muchas zonas rurales dentro o cerca de humedales depende de pozos perforados superficialmente que llegan a acuíferos que suelen recargarse de manera directa desde el extenso humedal.

Cosechar bienes de ecosistemas de humedales respetando la tasa de producción y la capacidad de regeneración de cada especie puede producir grandes beneficios a la sociedad humana. En muchas zonas la pesquería relacionada con los ecosistemas de humedales constituye una base fundamental de la economía local y nacional. La cosecha directa de recursos forestales de muchos humedales y llanuras inundables proporciona una serie de productos muy importantes: leña, madera, corteza, resinas, medicinas, etcétera (Dugan, 1990). Los humedales ricos en vida silvestre también proporcionan productos comerciales importantes, como carne, pieles, huevos y miel. Los ecosistemas de humedales y de llanuras inundables con frecuencia contienen importantes pastizales de hierba corta y bosques donde pasta el ganado y son importantes para las comunidades pastoriles. Los humedales también contienen un gran depósito genético para ciertas especies de plantas, de peces y de otros animales.

### *Proveedores de información*

Los ecosistemas que se basan en el agua proporcionan muchas oportunidades de recreo, experiencia estética y reflexión. La pesca, la caza deportiva, la observación de aves, la fotografía y los deportes acuáticos pueden llegar a representar valores económicos muy elevados. Bajo condiciones anaeróbicas, material biológico como polen y diatomeas, e incluso cuerpos humanos, pueden conservarse en turbas y en sedimentos de lagos.

En la asignación de agua que la sociedad hace el problema radica en decidir cuánta debiera utilizarse para el mantenimiento de ecosistemas con el fin de proporcionar bienes ambientales y mantener servicios elementales y cuánta para apoyar la agricultura, la industria y los servicios domésticos. Es importante, por tanto, que se entienda bien los costos y beneficios que para la sociedad representa la asignación de agua para conservar ecosistemas y para apoyar la agricultura, la industria y los usos domésticos. En la actualidad se dispone de técnicas para calcu-



lar el valor económico de biomásas específicas: Barbier *et al.* (1996), por ejemplo, han elaborado directrices para la valoración económica de bienes y servicios de humedales; Costanza *et al.* (1997) han intentado calcular el valor económico de 17 servicios ecosistémicos para sendas biomásas. A partir de esos cálculos se ha determinado en \$16-54 billones anuales (con un promedio de \$33 billones anuales) el valor de toda la biosfera, que es casi el doble del total (\$18 billones) del producto nacional mundial.

### Efectos negativos de la actual gestión hídrica

Los planes de gestión de sistemas hídricos que se centran en maximizar la cantidad de agua disponible para utilización directa suelen considerar sólo los costos y beneficios del proyecto en estos términos (se compara, por ejemplo, el costo de la mano de obra y de la tecnología con los beneficios económicos de una mayor productividad agrícola). Desviar agua desde un recorrido a otro significa que se sustituirán unos beneficios con otros nuevos, y la sociedad debiera estar segura de que los nuevos beneficios sean mayores que los anteriores. Es fundamental que las sociedades puedan ponderar tanto los beneficios económicos como los sociales y culturales de estrategias alternas de asignación de agua y su viabilidad para generaciones futuras. Los beneficios económicos por utilizar agua para sustentar la pesca, la agricultura y la extracción de leña en humedales pueden resultar mucho mayores que los derivados de utilizarla para irrigación intensiva. Sin embargo, estos beneficios pueden pasarse por alto en los planes de gestión de los recursos hídricos, como ocurrió en el caso de la construcción de las represas Tiga y Challowa Gorge en el río Hadeija en Nigeria septentrional, las cuales redujeron la inundación de las llanuras inundables Hadeija-Nguru, impidiéndose el recargamiento de acuíferos que mediante pozos abastecían a unas 100.000 personas en la cuenca Komodugu-Yobe (Hollis *et al.* 1993). El propósito principal de la gestión hidrológica ha sido acelerar el desarrollo económico, y en años recientes la construcción de grandes represas se ha visto como un componente clave de dicha estrategia, con éxito en muchas partes del mundo.

Las represas, que almacenan agua cuando los caudales fluviales son elevados y la descargan cuando se necesita suministrar energía e irrigación a poblaciones urbanas y a la industria, frecuentemente han acelerado la eliminación y la conversión de bosques ribe-

ños y de otros hábitats en llanuras inundables y humedales, y también han reemplazado el ciclo natural de inundaciones y caudales bajos con una pauta más constante de caudal en respuesta a la demanda de electricidad y de irrigación. Estos cambios en el caudal de agua pueden conducir a cambios en el funcionamiento de los ecosistemas que dependen de dicho caudal, lo cual a su vez tiene impacto en sociedades dependientes de dichos ecosistemas. Por ejemplo, antes de 1987 no se habían registrado en África Occidental ni la fiebre del Valle Rift (enfermedad viral que portan los mosquitos) ni esquistosomiasis intestinal humana (enfermedad de gusano parasitario que portan los caracoles acuáticos). Después de la construcción de la represa Diama en el valle del río Senegal, se registraron 200 defunciones por fiebre del Valle Rift y una tasa de abortos de un 80% entre ovejas y cabras. En 1988, la tasa de prevalencia de la esquistosomiasis fue de un 2% y en 1989 llegó al 72%. Además, hubo una disminución de un 90% en la productividad de la pesca en el delta del Senegal que dependía de la entrada de agua dulce procedente de río arriba (Verhoef 1996). Los costos culturales de la construcción de esas represas representó la pérdida de culturas tradicionales adaptadas a la dinámica de las llanuras inundables en los valles del río Senegal. El desvío de agua desde las llanuras inundables impidió la recarga de niveles de nutrientes y de depósitos de agua subterránea que se obtenían con la anterior inundación regular. De 80.000 ha de tierras tradicionales de pasto sólo 4.000 podían seguir sustentando vegetación para el ganado de pastoreo. La sociedad que se había adaptado al ciclo estacional de las llanuras inundables se vio obligada a abandonar su cultura y la base de conocimientos de ésta se perdió.

En tiempos recientes se ha tratado de desarrollar enfoques tradicionales en gestión hídrica que han ido tomando forma a lo largo de muchos años, con frecuencia de manera armónica con el ambiente y no en contra del mismo. La agricultura de recesión de inundaciones es un ejemplo destacado, en el que la inundación se considera un proceso positivo que aporta a la llanura inundable tierra nueva, nutrientes, agua y peces. Con frecuencia se cultiva arroz flotante durante la inundación de llanuras inundables africanas, y se plantan cultivos en las tierras húmedas cuando las aguas se retiran, permaneciendo una cierta humedad en los suelos hasta la estación seca que proporciona pastizales esenciales a los rebaños migratorios.

## Mantener el ecosistema mediante un enfoque de ecosistema

Como se describió antes, los bienes y servicios que proporciona un ecosistema dependen de su funcionamiento, el cual depende de los procesos hidrológicos y biológicos internos, que a su vez dependen de los componentes químicos y biológicos que configuran el sistema: plantas, animales, microbios, suelo y minerales, que en gran medida son dependientes de la cantidad y calidad de agua que entra y sale del ecosistema —por el sedimento y nutrientes que ésta aporta como alimento para los animales y fertilidad de los suelos para las plantas—.

Para mantener las funciones y servicios de un ecosistema debe conservarse tanto los componentes clave como la cantidad y calidad del agua que fluye por el mismo. Por ejemplo, la reciente eliminación de bosque, para introducir agricultura y minería, ha impactado negativamente el servicio de purificación de agua del bosque North Selangor Peat Swamp (Khan 1996), donde el pantano de 75.000 ha venía desempeñando las funciones de almacenamiento y purificación de agua y proporcionando a uno de los mayores proyectos de arroz contiguo a Malasia los servicios de protección de inundaciones y de provisión de agua de excelente calidad —la falta de árboles impide la retención de suelos, sedimentos y toxinas—.

Si la sociedad quiere seguir beneficiándose de los servicios que brindan los ecosistemas, debe asegurar el mantenimiento de los componentes de éste y la cantidad y la calidad de los recursos hídricos dentro de él; además debe evaluar los costos y beneficios ecológicos, económicos, sociales, culturales y políticos de las diversas opciones de gestión. Para gestionar el recurso hídrico conservando las funciones clave que proporcionan los ecosistemas, guardando un equilibrio entre —por un lado— el sustento de la agricultura, la industria y los usos domésticos y —por el otro— el aprovechamiento de los bienes y servicios naturales, la sociedad debe definir los beneficios que más desea obtener del recurso y elaborar un plan de gestión que asegure su consecución.

### Enfoque de gestión basada en el ecosistema

El enfoque de gestión basada en el ecosistema intenta satisfacer las necesidades humanas en cuanto a uso de agua dulce y, al mismo tiempo, conservar la diversidad biológica y los procesos hidrológicos y ecológicos necesarios para mantener la composición, estructura y función de los ecosistemas que sustentan a las comunidades humanas. Es un enfoque integral

que toma en cuenta todos los costos y beneficios pertinentes e identificables (ecológicos, económicos, sociales, culturales y políticos) de opciones alternativas de gestión para todas las partes interesadas, y asegura que el plan que se adopte sea el que resulta más aceptable para todas ellas.

### Escalas espaciales y temporales de la gestión

La escala espacial adecuada en la que se aplique la gestión basada en el ecosistema depende de la importancia relativa de los componentes presentes en el sistema, de la escala de perturbaciones naturales (p.e. incendios, deslizamientos, inundaciones), de procesos biológicos pertinentes (p.e. enfermedad, saqueo, reproducción) y de características y capacidades de dispersión de las poblaciones que lo componen. La unidad fundamental para los aspectos de gestión relacionados con el agua es normalmente la cuenca de drenaje, pues ésta delimita un sistema hidrológico en el que los componentes y procesos están interconectados debido al desplazamiento del agua. La deforestación de vertientes en nacientes, por ejemplo, afecta la producción de agua y la frecuencia de las inundaciones río abajo. De ahí que se haya desarrollado el término de gestión integrada de cuenca hidrográfica como un concepto amplio que asume un enfoque integral en esta escala. Sin embargo, con frecuencia el acuífero subyacente no coincide en forma exacta con la cuenca hidrográfica en la superficie. Por ello, cuando el agua subterránea desempeña un papel significativo, la unidad adecuada de gestión de recursos hídricos pueden conformarla un grupo de cuencas sobre un acuífero.

Para definir las escalas temporales de una gestión basada en el ecosistema deben tomarse en cuenta consideraciones de corto, mediano y largo plazo, mientras que muchas de las prácticas actuales sólo toman en cuenta la disponibilidad y confiabilidad del recurso hídrico a corto plazo o, cuando más, a mediano. Por ejemplo, en muchas zonas de tierras secas se practica la extracción de recursos no renovables de agua subterránea, insostenible a largo plazo; asimismo, se da contaminación por agua infiltrada que llegará hasta el agua subterránea a escalas temporales mucho mayores (100–10.000 años). La inviabilidad a largo plazo hace que esas prácticas resulten inadecuadas desde muchas perspectivas (National Research Council 1997).

El enfoque de gestión basada en el ecosistema toma en cuenta en forma especial la sostenibilidad a largo plazo de las prácticas. Aunque algunas opciones pueden resultar más



adecuadas desde una perspectiva de marco temporal corto, el enfoque considera que las prácticas son "razonables" cuando son sostenibles y en consecuencia satisfacen las demandas tanto actuales como futuras y sustentan ecosistemas para que provean servicios y bienes a largo plazo.

La importancia de un enfoque de gestión basada en el ecosistema la han reconocido no sólo la comunidad científica y conservacionista, sino también organismos y documentos ambientales internacionales. Por ejemplo, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) se encuentra en una fase avanzada de formulación de un programa de trabajo sobre sistemas hídricos tierra adentro que reconoce la importancia de adoptar un enfoque basado en el ecosistema para lograr la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica de aguas tierra adentro y la distribución justa y equitativa de los beneficios que ellas proporcionan (UNEP 1997). En consecuencia, la Secretaría del CDB está tratando de elaborar un *modus operandi* para ayudar a las Partes del CDB a implementar un enfoque basado en el ecosistema en los ámbitos internacional, regional y local. En general, esta gestión todavía está lejos de aplicarse con éxito, y la rapidez con que se ponga en práctica y su éxito dependerán de lo bien que funcionen juntos los instrumentos ambientales internacionales para asesorar a sus Partes. Dada la interdependencia de la diversidad biológica y el desarrollo sostenible, es especialmente fundamental que la Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS) y el CDB actúen juntos. Ambos están examinando en la actualidad el área temática de recursos de agua dulce, o de tierra adentro. Al colaborar con el CDB asesorando a las Partes para que adopten un enfoque de ecosistema como enfoque estratégico para la gestión sostenible de recursos de agua dulce, las Partes de la CDS y del CDB seguirán beneficiándose de la estrecha cooperación entre la Comisión y la Convención.

#### Enfoque de ecosistema en la gestión de recursos de agua dulce

Los instrumentos internacionales están comenzando a aconsejar a los países que adopten el enfoque de ecosistema en la gestión de los recursos de agua dulce. La mayor parte de las preguntas que, según prevemos, formularán los países serán sobre: el monto de los recursos hídricos y las funciones ecosistémicas que ellos sustentan; el modo de lograr la capacidad para diseñar y poner en práctica un plan de gestión basado en el ecosistema para

los recursos hídricos; los modos de comunicarse las distintas partes interesadas de la sociedad y de alcanzar acuerdos acerca del diseño y puesta en práctica de proyectos de desarrollo, y, finalmente, el carácter del fundamento disciplinario que han de tener las políticas y la planificación basadas en un enfoque de ecosistema para la gestión de recursos hídricos. Para responder estas preguntas necesitamos examinar qué se sabe, identificar lagunas en la información disponible y procurar llenarlas de modo que se pueda brindar a los países asesoría de alta calidad si así lo requirieran.

#### Valoración de los recursos hídricos y de las funciones de los ecosistemas

##### *Monitoreo de los recursos hídricos*

Sólo se puede lograr una gestión efectiva de los recursos si las decisiones se basan en información sólida. Incluso en países desarrollados, donde hay una nutrida red de estaciones para medir precipitaciones y caudales de ríos, la cantidad de datos sobre recursos hídricos todavía es limitada y se está invirtiendo muchos fondos para desarrollar métodos de valoración de recursos para ríos todavía no medidos. Más aun, los datos hidrológicos acerca de cuerpos de agua estática o de flujo lento y de ecosistemas terrestres son muy escasos (Acreman y Hollis 1996), por lo que resulta sumamente difícil cuantificar ahora el recurso hídrico que utilizan y proporcionan muchos ecosistemas, como asimismo determinar cómo exactamente transforman insumos hidrológicos en bienes y servicios ecológicos y económicos.

Como se estima que la presión sobre los recursos hídricos aumentará, existe una gran necesidad de incrementar el monitoreo de las propiedades hidrológicas de las vertientes. Como parte de la planificación y gestión del recurso hídrico debe cuantificarse el movimiento a través de ecosistemas clave y su almacenamiento en los mismos para hacer posible la valoración de sus funciones hidrológicas cruciales y su utilización efectiva. La medición de la cantidad de agua debería referirse a precipitaciones, caudales fluviales, infiltraciones en pastizales, intercepción y reciclaje de agua dentro de bosques, almacenamiento de agua de inundaciones, recarga de agua subterránea (dentro de humedales) y dimensión de la inundación anual. Las mediciones de la calidad del agua deberían referirse a niveles de acidez, nutrientes (nitratos, fosfatos), plaguicidas, amoníaco, demanda biológica de oxígeno, oxígeno y metales pesados. Debiera promoverse

la revitalización de las redes existentes de medición y el establecimiento de nuevas redes en apoyo de estas tareas.

#### *Monitoreo y valoración de funciones clave de los ecosistemas*

Además de monitorear aspectos hidrológicos, una gestión basada en el ecosistema necesita monitorear las funciones, bienes y servicios que proveen los ecosistemas. Además de las valoraciones puntuales de las funciones hidrológicas de los ecosistemas para fines de planificación, debe continuarse con la recopilación de datos por medio de monitoreos periódicos para asegurar que la función continúa y no se deteriora. La frecuencia de los registros depende de la variable que se mida y de la hidrología de la cuenca fluvial.

Para asegurar una valoración costo-eficiente de funciones, deben elaborarse indicadores de desempeño de funciones. En la actualidad se definen estos indicadores para monitorear la biodiversidad, pero deben expandirse para incluir otras funciones de los ecosistemas de agua dulce.

Para poder escoger entre diferentes opciones de gestión dentro de un enfoque de GIRH, se debe evaluar económicamente los recursos y funciones que proveen los ecosistemas. Una reciente valoración de bienes y servicios ambientales que proveen los ecosistemas del mundo ha determinado que éstos llegan a \$4,5 mil millones (Costanza *et al.* 1997). Los valores económicos de los ecosistemas se pueden evaluar en comparación con los beneficios económicos provenientes de productos bajo condiciones modificadas. Quienes toman decisiones podrían entonces basar éstas en un juicio ponderado de costos y beneficios económicos de desarrollos proyectados.

#### **Fortalecimiento de capacidades**

##### *Tecnología apropiada a gestores y planificadores*

Las prácticas actuales de planificación a menudo buscan aplicar nuevas tecnologías para mejorar la utilización de recursos hídricos. Sin embargo, con frecuencia los conocimientos y prácticas locales no deben sustituirse ni ajustarse, por lo que los planificadores deberían tomar en cuenta las tecnologías, tanto tradicionales como modernas, a la hora de diseñar y ejecutar proyectos hídricos. Para asegurar una puesta en práctica equilibrada de tecnologías adecuadas deben desarrollarse capacidades en los diferentes niveles, desde el del planificador regional hasta el de la parte interesada individual (Borrini Feyrerabend y



Buchan 1997, OECD 1996). Sea cual fuere el nivel, las instituciones necesitan miembros bien informados que sepan valorar la amplia gama de aspectos relacionados con la asignación de recursos hídricos. La capacitación es un elemento esencial, pero las necesidades de ella varían según la clase de institución. Los

asesores técnicos profesionales requieren cursos formales de capacitación, por ejemplo, acerca de planificación de recursos hídricos y de gestión de humedales, en tanto que a los representantes de comunidades locales es mejor capacitarlos con participación en actividades locales, como evaluación rural participativa, o por medio de visitas a proyectos de demostración.

Además, las circunstancias locales deberían ayudar a determinar la selección de la tecnología apropiada. Al respecto es importante el cambio hacia una gestión basada en la demanda. Para cambiar las demandas deben buscarse tecnologías apropiadas y nuevos métodos de conservación, reciclaje y mantenimiento de agua, o para restauración de la calidad del agua. Un ejemplo de esto es el desarrollo, para zonas áridas o semiáridas, de sistemas sanitarios que no se basan en agua. Deben promoverse tecnologías escogidas a partir de la utilización de pruebas en fincas, de contactos de agricultor con agricultor o de mujer con mujer, de programas de radio, de carteles, etcétera, con el fin de que se repitan iniciativas exitosas.

#### *Integración de gestión y planificación del desarrollo*

La gestión de recursos hídricos se produce en muchos niveles diferentes dentro de la sociedad, desde el agricultor individual hasta autoridades comunitarias, distritales y nacionales en la esfera del agua. Gran parte de la planificación del desarrollo se da sobre todo fuera de la zona afectada, en el ámbito distrital y nacional, de manos de institutos nacionales y de firmas de consultores. Para cambiar las prácticas actuales las comunidades debieran involucrarse en el diseño y puesta en práctica de proyectos de desarrollo (Borrini Feyerabend y Buchan 1997). Debieran promoverse acuerdos de gestión, con la colaboración de gobiernos y comunidades, en los que estas últimas asumieran responsabilidad por una buena gestión de los agroecosistemas locales, incluyendo su biodiversidad, a cambio del derecho a utilizar agua y de la participación en la gestión y planificación de la cuenca fluvial. El diseño, ejecución y evaluación de proyectos hídricos debieran beneficiarse más de la participación comunitaria. Para asegurar ésta en la planificación, en muchos lugares se requerirá un cambio en las instituciones, que podría iniciarse con una evaluación de las estrategias actuales de toma de decisiones, de las estructuras de comunicación interna y de las capacidades institucionales.

#### *Estrategias para resolución de conflictos*

Con el incremento de la demanda de recursos hídricos limitados, a causa de múltiples usos, aumentarán los conflictos —locales, regionales y nacionales— en torno a la cantidad, calidad y asignación. Ante éstos, los usuarios y otras partes interesadas deben negociar soluciones y colaborar en la conservación a largo plazo de los recursos hídricos y de la biodiversidad; la participación de todas las partes interesadas es fundamental. Es necesario fortalecer las capacidades para la gestión de conflictos en los niveles de comunidad, municipal, nacional e internacional (Borrini Feyerabend y Buchan 1997); en los tres primeros niveles, comisiones independientes del agua deberían detentar la autoridad para arbitrar y adjudicar entre usuarios del agua y deberían asegurar una distribución equitativa de los derechos al uso del agua. Las pautas de distribución debieran sustentar la conservación a largo plazo de los recursos hídricos y de las funciones de los ecosistemas y de los bienes y servicios para generaciones futuras. En las esferas nacional y multilateral deberían negociarse acuerdos sobre recursos hídricos compartidos (especialmente importantes para la región centroamericana donde alrededor del 57% de sus cuencas son compartidas o transfronterizas). Éstos debieran abarcar los derechos y responsabilidades actuales y futuros sobre recursos hídricos de superficie río arriba y río abajo y sobre los recursos de agua subterránea renovables y no renovables.

#### *Comunicación mediante asociaciones*

##### *Equipos multidisciplinarios para planificación y gestión*

La planificación y gestión basadas en el sector tradicional se caracterizan por una falta de coordinación en la asignación de recursos a diferentes usuarios y en el aprovechamiento de los ecosistemas como proveedores de bienes y servicios, lo cual se debe al predominio de una única disciplina en el proceso de planificación y gestión, centrada en la demanda y la subestimación de las múltiples funciones y valores de los ecosistemas. Para asegurar una planificación y gestión mejores, debería apelarse a la coherencia científica y técnica mediante la participación de equipos multidisciplinarios creados en los ámbitos local, regional, nacional e internacional, teniendo como metas comunicar perspectivas diferentes acerca de recursos hídricos y formar consenso acerca de la conservación de los mismos y del mantenimiento del funcionamiento del ecosistema como bases para el desarrollo sostenible.

### *Equipos intersectoriales para políticas y planificación*

Las iniciativas actuales en GIRH están encontrando muchos retos ante los que con frecuencia resulta inadecuada la solución tradicional basada en subsectores. Los problemas nuevos a menudo son menos de índole técnica que relacionados con el manejo de una amplia gama de fuentes de información, con la integración y síntesis de dicha información, con lograr acuerdos respecto de hechos, alternativas y soluciones, con la comunicación de la información sintetizada en un amplio abanico de partes interesadas y con la transformación de esta información en políticas adecuadas. Para asegurar que se puedan desarrollar políticas adecuadas e instrumentos de planificación que apoyen la conservación de los recursos hídricos y del funcionamiento del ecosistema, deben crearse equipos intersectoriales dentro de los que deberían estar representados grupos de usuarios locales para así asegurarse sus insumos durante la planificación y que se comuniquen los resultados a usuarios individuales.

### *Equipos plurales para definición y coordinación*

Las comunidades locales son los actores clave en la gestión de agroecosistemas y de los recursos hídricos que forman parte de los mismos. Se requiere una comunicación efectiva con las comunidades locales para aprender de sus experiencias e integrar sus puntos de vista y aspiraciones a los planes de desarrollo y gestión. Sólo con su participación podrán recibir apoyo los planes y políticas haciéndose posible una puesta en práctica exitosa. Por consiguiente, debería ponerse mucho empeño en la organización de comunidades locales como parte de grupos de usuarios de recursos, con especial atención a la formación de grupos de mujeres dada su relación y responsabilidades específicas respecto de la utilización y conservación del recurso hídrico. Es fundamental para el éxito de estas iniciativas que los grupos de usuarios adquieran poder por estar representados en equipos con pluralidad de partes interesadas, los cuales garantizan el establecimiento de contactos importantes entre partes interesadas y entre éstas y organizaciones gubernamentales. La ventaja radicará en que puedan comunicarse mejor los puntos de vista de las distintas partes interesadas a quienes formulan políticas y toman decisiones y al mismo tiempo se puedan comunicar con más facilidad a las comunidades las opciones de desarrollo y gestión.

### *Adaptar políticas y planificación*

#### *Incluir y compartir costos y beneficios*

La utilización inadecuada de agua puede generar costos ambientales y económicos importantes. La pérdida de funciones, bienes y servicios debido a menores insumos de agua a los ecosistemas acuáticos puede producir una violenta disminución de los beneficios que se originan en dichas áreas. Se debería lograr que en la planificación y en las políticas se incluya los costos ambientales y económicos de la disminución de caudales hacia estos ecosistemas y de otros usos inadecuados del agua con el fin de mejorar la eficiencia ambiental y económica de la utilización de ésta. Dentro de este ámbito, una acción de gran valor podría ser examinar los subsidios que se otorgan al agua y en especial los efectos negativos de los mismos en la economía y en los ecosistemas.

Más aun, se esperan grandes cambios en muchas esferas en cuanto a la cantidad y distribución de los usos domésticos del agua debido a cambios en el estilo de vida y a una creciente urbanización. El impacto de estos cambios en el ambiente y en el uso rural del agua podría ser grande, dada la necesidad de más agua e infraestructura para almacenamiento y distribución. Debería incorporarse en los planes y políticas sobre recursos hídricos los cambios en estilo de vida y en tamaño y distribución de la población. Estos planes y políticas deberían buscar salvaguardar el mantenimiento de una distribución equitativa de los recursos hídricos y de los costos y beneficios involucrados.

#### *Uso racional y prácticas y tecnología apropiadas*

Dentro del marco del GIRH existen diferentes opciones referentes a la asignación de recursos hídricos a los distintos usuarios. La selección de las mejores prácticas dentro del GIRH debería basarse en una pauta sostenible de utilización del agua, en promover la utilización razonable de los recursos hídricos y en salvaguardar el papel fundamental de los ecosistemas como proveedores de agua pura. Debería prestarse atención concreta al suministro y utilización de recursos de agua subterránea.

Para promover las mejores prácticas en los ámbitos de planificación, gestión y utilización del agua, debiera darse a conocer directrices regionales y operativas locales y ejemplos de prácticas de gestión sostenible del agua y preservadoras del funcionamiento de ecosistemas de agua dulce—algunos de esos ejemplos son la utilización de humedales para mejorar la cali-

dad del agua y la utilización de llanuras inundables para controlar los daños de inundaciones.

Para facilitar el cambio hacia un GIRH a partir de la demanda, deben promoverse tecnologías ambientalmente apropiadas. Si bien la tecnología ha aportado beneficios a muchas personas, para que dichos beneficios sean sostenibles aquélla debe ser apropiada tanto respecto de la capacidad de los pobladores de mantener el sistema como ambientalmente. Entre los ejemplos de estas tecnologías se puede mencionar los sistemas higiénicos sin agua, muchas formas de agricultura tradicional de secano, técnicas autóctonas de conservación del agua y de los suelos y gestión de las zonas ribereñas.

### Restauración de ecosistemas de agua dulce

Los canales fluviales y humedales deteriorados se caracterizan por una pérdida de estructura y funciones que solían desempeñar. La restauración de ecosistemas de agua dulce apenas ha comenzado en años recientes, por lo que la experiencia todavía es limitada. En el caso de restauración de canales fluviales, los componentes principales son la rehabilitación de la calidad del agua, del régimen de caudales y de la estructura del hábitat. En el caso de los humedales drenados, una buena restauración no se limita a obstruir el drenaje existente, sino que incluye represar, inundar o "regar" las zonas afectadas. Para rehabilitar el ecosistema original puede necesitarse un régimen estacional complejo. La restauración de ecosistemas de agua dulce deteriorados debería verse como la última solución para combatir la pérdida de estructura y función. Deberían preferirse intervenciones proactivas que traten de mantener dichas estructuras y funciones. La justificación económica de la restauración se puede encontrar a menudo en los resultados económicos mucho más elevados de los ecosistemas de agua dulce restaurados en comparación con, por ejemplo, los resultados de planes de irrigación a gran escala si se definen bien los costos de todos los resultados (Acreman 1994).

### Recomendaciones

Resulta claro que los ecosistemas sanos pueden proporcionar funciones hidrológicas beneficiosas que ayudan a la gestión del agua; mantener el funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce, pues, es un elemento clave en la gestión sostenible de los recursos hídricos. En consecuencia, recomendamos:

1. Adoptar un enfoque de gestión basado en ecosistemas como estrategia más apropiada para satisfacer sosteniblemente las demandas actuales y futuras de agua y las exigencias económicas, sociales y culturales de la sociedad.
2. Apoyar iniciativas que mejoren la valoración de los recursos hídricos y de las funciones y valores de los ecosistemas, lo que conlleva cuantificar las necesidades de agua de los ecosistemas y determinar los beneficios ecológicos, económicos, de salud, sociales y culturales de las funciones que proveen los ecosistemas.
3. Llevar a cabo investigaciones para entender el funcionamiento de los ecosistemas en una forma más plena con el fin de elaborar métodos rápidos y de fácil aplicación para la evaluación funcional de los ecosistemas y la cuantificación de sus necesidades de agua.
4. Desarrollar capacidades en varias esferas para asegurar una ejecución equilibrada de tecnologías apropiadas, lo que conlleva desarrollar capacitación ajustada a las necesidades en las diversas esferas y el desarrollo local de nuevas técnicas relacionadas con la utilización del agua y la gestión mediante el "aprender haciendo".
5. Involucrar a las comunidades en el desarrollo, ejecución y evaluación de planes de gestión de recursos hídricos por medio de una adecuada representación dentro de las diversas instituciones, lo cual requiere un cambio considerable en las estrategias de toma de decisiones, en la comunicación interna y en las capacidades como organización de estas instituciones y mejorar las capacidades para resolver conflictos en las diversas esferas.
6. Establecer asociaciones que apoyen el desarrollo de coherencia entre planificación y gestión de recursos hídricos, para lo que son elementos esenciales el establecimiento de equipos intersectoriales para desarrollar instrumentos de política y de planificación y de equipos con pluralidad de partes interesadas para la definición, coordinación, ejecución y evaluación de programas.
7. Adoptar análisis de funcionamiento de ecosistemas, de sus necesidades de agua y de los bienes y servicios que proporcionan como elementos clave en la planificación y gestión de recursos hídricos, lo cual requiere que se desarrollen otros instrumentos, como evaluaciones de impacto y valoración de funciones de los ecosistemas.
8. Analizar los incentivos sociales, económicos y legales, y los subsidios y políticas, para

determinar sus posibles efectos ambientales y económicos negativos y ajustarlos, o elaborarlos, poniéndolos en práctica más con el fin de mantener el funcionamiento ecosistémico y el desarrollo sostenible de las sociedades.

### Referencias bibliográficas

- Abramovitz, J. N. 1997. "Valuing Nature's Services", en *State of the World. A worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society*. Worldwatch Institute. Washington DC.
- Acreman, M. "The role of artificial flooding in the integrated development of river basins in Africa", en Kirby, C. y W. R. White (eds.). 1994. *Integrated River Basin Development*. John Wiley and Sons. Chichester (UK).
- Acreman, M. C. y Hollis, G. E. (eds.). 1996. *Water management and wetlands in sub-Saharan Africa*. IUCN. Gland Switzerland.
- Acreman, M. C. y Lahmann, E. (eds.). "Managing Water Resources", en *Parks* 5(2), 1995 -special issue-.
- Baker, C. J. y Maltby, E. "Nitrate removal by river marginal wetlands: factors affecting the provision of a suitable denitrification environment", en Hughes, J. M. R. y Heathwaite, A. L. (eds.). 1995. *Hydrology and hydrochemistry of British wetlands*. John Wiley and Sons. Chichester (UK).
- Barbier, E. B., M. C. Acreman y D. Knowler. 1996. *Economic valuation of wetlands: a guide for policy makers and planners*. Ramsar Convention Bureau. Gland, Switzerland.
- Borrini Feyerabend, G. y Buchan, D. (eds.). 1997. *Beyond fences. Seeking social sustainability in conservation. Volume I: A process companion*. IUCN. Gland, Switzerland.
- Costanza, R. et al. "The value of the world's ecosystem services and natural capital", en *Nature*, 387, 1997.
- De Groot, R. S. 1992. *Functions of nature. Evaluation of nature in environmental planning, management and decision making*. Wolters Noordhoff, Denter. The Netherlands.
- Dugan, P. J. 1990. *Wetland Conservation: A review of current issues and required action*. IUCN. Gland, Switzerland.
- Ehrlich, P. R. y A. H. Ehrlich. "The value of biodiversity", en *Ambio*, 21(3), 1992.
- Engleman, R. y P. LeRoy. 1993. *Sustaining water - population and the future of renewable water supplies*. Population Action International. Washington DC.
- Falkenmark, M. "The massive water scarcity now threatening Africa: why isn't it being addressed", en *Ambio*, 18(2), 1989.
- Gash, J. H. C. et al. (eds.). 1996. *Amazonia deforestation and climate*. John Wiley and Sons. Chichester (UK).
- GWP. 1997. *Documents and Proceedings of the Special GWP-TAC Meeting*. Copenhagen, October 1997.
- Hollis, G. E. et al. 1993. *The Hadejia-Nguru wetlands: Environment, economy and sustainable development of a Sahelian Floodplain Wetland*. IUCN. Gland.
- IUCN. 2000. *Vision for Water and Nature. A world strategy for conservation and sustainable management of water resources in the 21<sup>st</sup> century*. IUCN. Gland.
- Khan, N. "Protection of the North Selangor Peat Swamp Forest, Malaysia", en *Parks*, 5(2), 1995.
- Koch, M. S. et al. "Factors controlling denitrification rates of tidal mudflats and fringing salt marshes in south-west England", en *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 34, 1992.
- Laanbroek, H. J. et al. 1996. *Wetland and aquatic ecosystem research science plan*. European Commission. Brussels.
- Lean, J. y D. Warrilow. "Simulation of the regional impact of Amazon deforestation", en *Nature*, 342, 1989.
- McAllister, D. E., A. L. Hamilton y B. Harvey. "Global freshwater biodiversity: Striving for the integrity of freshwater ecosystems", en *Sea Wind*, 11(3), 1997 -special issue-.
- WCMC. 1992. *Global biodiversity. Status of the Earth's living resources*. Chapman and Hall. London.
- NEDA. 1997. *Water for the future: Integrated Water Resources Management. Policy Priorities for Netherlands Development Assistance*. Netherlands Development Assistance. Den Hague.
- National Research Council. 1997. *Valuing ground water - Economic concepts and approaches. Prepared by: Committee on valuing ground water. Water science and Technology board, Commission on Geosciences, Environment and Resources*. National Academy Press. Washington DC.
- OECD. 1996. *Capacity development in environment. Proceedings of the IED/OECD workshop, Rome, 4-6 December 1996*.
- Saenger, P., E. J. Hegerl y J. D. S. Davie. 1983. *Global status of mangrove ecosystems*. IUCN-WWF. Gland.
- Shukla, J., C. Nobre y P. Sellers. "Amazon deforestation and climate change", en *Science*, 247, 1990.
- UNEP. 1997. *Report of the Third Meeting of the Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice UNEP/CBD/COP/4/2*.
- Windevoxlhel, N., J. Rodríguez y E. Lahmann. "Situation of integrated coastal zone management in Central America; Experiences of the IUCN wetlands and coastal zone conservation program", en *Ocean & Coastal Management* 42, 1999.
- Verhoef, H. "Health aspects of Sahelian floodplain development", en Acreman, M. C. y G. E. Hollis (eds.). 1996. *Water management and wetlands in sub-Saharan Africa*. IUCN. Gland.
- Xue, Y. y J. Shukla. 1993. *The influence of land surface properties on Sahel climate. Part 1, Desertification*.

### Agradecimiento

A E. Maltby y J-Y Pirot, por sus contribuciones en la elaboración de este documento.