

Capítulo 3

UN PLANETA LLAMADO AGUA

CARLOS MONTES

Catedrático de Ecología. Universidad Autónoma. Madrid

JOSÉ RAMÓN ANTÚNEZ

Físico. Diputación Provincial de Sevilla

Introducción

El agua es algo más que uno de los recursos naturales básicos de la civilización; es la base de la vida y sus flujos son las venas de este gran sistema ecológico que es nuestro planeta (ecosfera). Prácticamente cualquier proceso que mantiene a nuestra sociedad y a la naturaleza necesita agua. La actitud de la humanidad frente a este elemento depende de su abundancia; si es abundante, es gratuita y se emplea para cualquier uso, generalmente de un forma despilfarradora; si escasea se convierte en una mercancía valiosísima que da lugar a disputas e incluso luchas, entre quienes la utilizan.

El crecimiento y los desequilibrios demográficos unidos a la expansión de la industria y la agricultura junto con la demanda de niveles de vida más elevados han llevado, en muchos países, a cotas nunca alcanzadas en el consumo de agua por persona. Por este motivo el agua constituye, cada vez más, *un recurso escaso*. Un recurso del que, a diferencia de otros muchos, no tenemos ningún sustituto. El despilfarro con que se ha tratado a esta componente de la estructura de los ecosistemas acuáticos junto con la pérdida de su calidad para distintos usos, debida a la acción de diferentes tipos de contaminación, está provocando y provocará importantes restricciones en el futuro. Parece claro que, si sigue imperando un modelo socioeconómico típicamente desarrollista, como ocurre en la actualidad, la demanda de agua a escala mundial, lejos de estabilizarse, seguirá incrementándose de una forma alarmante ya que la población mundial y las tendencias del crecimiento económico siguen en aumento.

Para satisfacer esta demanda se han construido numerosas y monumentales infraestructuras hidráulicas como grandes embalses, transvases, canalizaciones, etc. que han ocasionado importantes modificaciones en los flujos naturales y en la hidroquímica de los sistemas acuáticos superficiales y subterráneos. Ello ha propiciado graves alteraciones en el funcionamiento de extensos espacios naturales de gran valor ecológico.

El uso irracional del agua es responsable de un panorama ambiental cuyas características más importantes son, a nuestro juicio, las siguientes:

- La mitad de la población mundial carece de infraestructuras de saneamiento. Mas de un 1.000 millones de personas tienen problemas de abastecimiento de agua potable.
- Las enfermedades relacionadas con el agua están incrementándose espectacularmente.
- Los conflictos políticos e incluso militares relacionados con la explotación de recursos hídricos compartidos por diferentes países (como cuencas hidrográficas o acuíferos) están intensificándose en algunas regiones del planeta especialmente en Oriente Medio. Son las denominadas *guerras del agua*.
- Se está produciendo una pérdida creciente y alarmante de superficie y funcionalidad en el reducido patrimonio mundial de ecosistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, humedales, acuíferos), que se traduce en la desaparición de miles de especies de organismos acuáticos.
- La comunidad científica ha reconocido que las interferencias humanas en los cambios globales del clima son evidentes y que el ciclo hidrológico se verá afectado en forma y consecuencias que estamos comenzando a estudiar.

Todo esto pone de manifiesto que la calidad y disponibilidad de agua para el consumo humano y el mantenimiento de la salud de los ecosistemas constituye uno de los problemas ambientales más críticos de la sociedad contemporánea. Cada vez es más frecuente en los foros nacionales e internacionales oír hablar de un nuevo desafío de nuestra sociedad: la denominada *crisis del agua*. Como indican muchos autores, la escasez de agua es ya en este siglo y lo será en el próximo una fuente de conflictos

nacionales e internacionales además de un factor de cambio en la economía de muchos países. Está ocurriendo algo parecido a la situación que se creó en los años sesenta por la subida del precio del petróleo bajo la denominada crisis energética.

Parece lógico que la posición a adoptar frente a este cuadro altamente preocupante no es de indiferencia tranquila fundamentada en la confianza de una tecnología capaz de captar, embalsar y distribuir a cualquier precio el agua donde esté, ni tampoco una visión catastrofista que fácilmente degenera hacia un fuerte inmovilismo. Ni un optimismo beato ni un pesimismo exagerado parecen ser las posturas más adecuadas. Buscar un punto entre ambos extremos pasa por conocer la base de los problemas relacionados con la naturaleza y explotación de este recurso. Esto significa que tenemos que explorar los múltiples aspectos de su naturaleza físico-química, sus rutas, su desigual distribución espacio-temporal, su papel en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y terrestres, sus tramas territoriales y sus relaciones con los sistemas humanos. Por otra parte, es preciso fundamentar nuestro análisis y planificación del agua como recurso en programas de investigación básica y aplicada sobre los ecosistemas acuáticos que nos lo suministran. Desde este enfoque los problemas actuales del agua dulce no son debidos a su escasez sino a una mala gestión, por un lado por la falta de visión de conjunto de técnicos y políticos sobre como funcionan los sistemas naturales y por otro, por una ausencia de principios éticos que antepone el beneficio fácil y rápido de unos pocos al bien común.

La gestión del agua debe basarse, por tanto, en medidas bien fundadas ecológicamente, económicamente viables, fáciles técnicamente y especialmente que gocen de aceptación de la sociedad para que las normas de ahorro, reciclado y uso racional del recurso formen parte de su comportamiento habitual. El problema reside en que el modelo de vida actual de los países industrializados, claramente consumista, separa cada vez más al ser humano y a su sociedad del medio natural con el que interacciona de una manera interdependiente, al comportarse como si no formara parte de él. De esta forma se gestionan los servicios naturales, incluido el suministro de agua de calidad, sin tener en cuenta el conocimiento que se posee sobre cómo se organizan y funcionan los ríos, lagos o acuíferos que se explotan. Un suministro barato y constante de este elemento junto con una distribu-

ción y desgüe por tuberías invisibles hace que muchas personas perciban el agua como algo cotidiano que sale sin fin por los grifos y que hay que captar allá donde esté, a cualquier precio, sin tener en cuenta el papel que juega en el funcionamiento de la naturaleza a escala local y planetaria.

Este comportamiento explica por ejemplo, el por qué el consumo anual de agua por habitante se considera erróneamente un indicador de la calidad de vida de un país o el que los ciudadanos del mundo desarrollado tiendan a sentir que la falta de agua para el consumo humano es un problema solo de los países del Tercer Mundo.

Como resultado de esta pérdida de contacto directo de la población humana con las fuentes del agua en la naturaleza y encerramiento en ambientes artificiales se han internalizado en amplios sectores de la sociedad una serie de conceptos erróneos sobre los problemas de la escasez de agua que sirven para llevar a cabo y justificar decisiones poco prudentes sobre política del agua relacionadas con el desarrollo de grandes infraestructuras hidráulicas. Son los llamados *hidromitos* entre los que cabe destacar: «la gestión del agua es un problema básicamente técnico»; «la existencia de desequilibrios hidrológicos»; «la escasez de agua potable»; «el agua de las cuencas hidrográficas se pierde inútilmente en el mar»; «la pertinaz sequía y las inundaciones catastróficas limitan el acceso de agua dulce»; «las aguas subterráneas no son un recurso fiable», etc.

Para abordar este y otros problemas relacionados, es necesario desarrollar programas de educación ambiental y concienciación social que propicien una nueva *cultura del agua* que promueva y defienda la divulgación a todos los niveles del papel que juega este elemento en el funcionamiento de la naturaleza para saber si lo estamos gestionando de una forma correcta.

1. Un planeta llamado agua

La Tierra ocupa la cálida región interior del Sistema Solar, constituyendo uno de los cuatro pequeños planetas denominados terrestres (Mercurio, Venus, La Tierra y Marte) con una cubierta sólida de rocas. A grandes rasgos, la Tierra puede parecerse muy parecida a los otros miembros de la familia solar (placas tectónicas, formación de montañas, erosión,

actividad volcánica, determinados aspectos litológicos, etc.) pero, si analizamos esta cuestión con más detalle, vemos que es un planeta único y su rareza reside en que posee una atmósfera rica en oxígeno (21% del total de gases) y sobre todo en que *la mayor parte de su superficie, casi sus tres cuartas partes, está cubierta de una sustancia muy especial; el agua.*

Como organismos terrestres que somos, tendemos a pensar en nuestro planeta en términos de tierra, pero la Tierra es el planeta agua o mejor océano, ya que estos cubren más del 70% de su superficie.

Por este motivo, cuando observamos la Tierra desde el espacio se nos muestra fundamentalmente de color azul, y no el azul de una atmósfera de metano, como ocurre con Urano o Neptuno. El azul de la Tierra es producto de una superficie cubierta de agua básicamente en forma líquida sin olvidar el blanco de las nubes o agua en forma de vapor y el blanco de los casquetes polares o agua en forma sólida. *Agua en sus tres estados, algo que no ocurre en ninguna otra parte del sistema solar.* Su posición y distancia respecto al Sol es la adecuada (1.50 millones de kilómetros). Ni tan cerca como para que toda el agua se evapore, ni tan lejos como para toda se hiele.

La Tierra que conocemos es el resultado de una historia de más de 4.000 millones de años en la que la vida ha tenido mucho que decir. Los procesos biológicos han afectado de tal manera a nuestro planeta que han hecho que éste se diferencie, aún más de sus planetas vecinos. El agua ha sido un elemento clave en toda esta historia. Sin ella no existiría la vida ni se entendería la organización y funcionamiento de nuestro planeta y como explica el profesor Ramón MARGALEF: *la Tierra se asemeja a una batería de coche. La batería se llena de agua y, luego, la vida carga la batería.*

1.1. Agua. Una sustancia muy extraña

¿Por qué el agua ha sido y es tan transcendente en la configuración actual de nuestro planeta, incluyendo los procesos relacionados con el origen, mantenimiento y evolución de la vida? ¿Por qué es tan importante en la mayoría de los procesos de la sociedad humana? La explicación hay que encontrarla en su extraordinaria *estructura molecular* que le confiere una *alta polaridad eléctrica* y explica la rareza de sus propiedades. Es la única

sustancia, junto con el mercurio, que se mantiene líquida a temperaturas, incluida la ambiental, en que la que el resto de líquidos se transforman en gases; mantiene objetos mas pesados en su superficie; almacena y cede grandes cantidades de calor con cambios pequeños de temperatura; es capaz de mantener flotando un volumen sólido (hielo) de ella misma.

El agua posee un alto *calor específico* y tiene un elevado *punto de ebullición* (100 °C) y bajo punto de solidificación (0 °C). Hace falta mucho más calor para convertir el agua líquida (romper los puentes de hidrógeno) en vapor que el necesario para evaporar otros compuestos. Sin estas propiedades el agua en la Tierra o en los tejidos de los organismos vivos estaría en forma gaseosa o sólida (hielo) dentro del rango normal de temperatura sobre la superficie de la Tierra y la vida no existiría tal y como la conocemos. También por su alto calor específico el agua líquida almacena y cede grandes cantidades de calor con cambios pequeños de temperatura.

Estas cualidades protegen a los organismos, especialmente a los acuáticos, de cambios bruscos de temperatura y ayuda a modular las diferencias climáticas. Es conocido, desde muy antiguo, el efecto microclimático de la presencia de láminas de agua como lagos o la proximidad al mar. También por este motivo el ser humano la utiliza como un refrigerante efectivo de motores, centrales nucleares, eléctricas, etc.

El agua líquida tiene un calor de evaporación (a 100° es de 537 calorías por gramo) y fusión (a 0°C es de 79 calorías por gramo) muy elevado. Esta capacidad para absorber grandes cantidades de calor cuando el agua líquida se convierte en vapor y liberar este calor cuando se condensa o cuando el hielo se convierte en líquido es un factor clave para explicar la distribución de calor alrededor de nuestro planeta y por tanto, actúa como un importantísimo regulador del clima local y mundial. Esta propiedad también explica cómo la evaporación del agua es un proceso de refrigeración efectivo de plantas y animales.

Constituye uno de los mejores disolventes naturales, capaz de disolver grandes cantidades de una amplia gama de compuestos. Esta propiedad le permite llevar disueltos gases o sustancias sólidas de carácter polar, como nutrientes y otros elementos, que incorpora y transporta a través de los tejidos de los organismos, o expulsa como sustancias tóxicas. Por este motivo, se puede decir que *en la Naturaleza no existe el agua pura o vacía*.

Esta propiedad le ha servido y le sirve al ser humano para transportar compuestos o evacuar residuos solubles.

Por las fuerzas atractivas entre sus moléculas, el agua líquida tiene una elevada tensión superficial que hace que su superficie se presente como una película elástica y que tenga una gran capacidad para adherirse y cubrir una superficie sólida. Esta propiedad es responsable de la *capilaridad* del agua líquida que permite a las plantas superiores tomar y distribuir los nutrientes del suelo.

El agua líquida se expande cuando se congela, disminuyendo su densidad. De esta forma el hielo flota en el agua líquida. Ello explica por qué cuando un ecosistema acuático se congela lo hace de arriba a abajo. Si lo hiciera de abajo arriba los lagos, humedales y ríos de las zonas frías de la Tierra serían sólidos al congelarse y no permitiría el desarrollo de la vida acuática invernal. También el aumento de volumen del agua sólida explica la acción erosiva del hielo (modelado glaciar y periglaciario) o los daños que ocasiona en las infraestructuras de la sociedad humana (rotura de cañerías, motores, etc.)

En resumen, la vida y el funcionamiento de los sistemas ecológicos de la Ecosfera hay que entenderlos, en ultimo término, como resultado del comportamiento anómalo de la molécula de agua. El agua se nos presenta como *una sustancia increíble que une a la humanidad al resto de los seres vivos y a nuestro planeta*. El conocimiento de las condiciones hidrológicas de la Tierra a distintas escalas espacio-temporales es esencial para desarrollar estrategias de gestión que permitan la coexistencia armónica entre el mantenimiento de la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos y el disfrute de los múltiples bienes y servicios que suministran a la sociedad humana, incluido el abastecimiento de agua potable.

1.2. El almacenamiento, distribución y renovación del agua en el planeta: una cuestión de cifras.

Actualmente se supone que el agua de nuestro planeta no pudo resultar de la condensación de una atmósfera gaseosa primitiva sino que *procede de una exudación de la corteza terrestre primitiva*. Existen discrepancias sobre si el volumen de esta sustancia ha permanecido constante

desde su origen o se ha ido incrementado. De todas formas, la cantidad total de agua en nuestro planeta se estima en unos 1.400 millones de km³ y está presente a cualquier escala, tanto a nivel planetario como celular.

Como organismos que vivimos en los continentes, tenemos tendencia a interpretar el agua y sus manifestaciones como un fenómeno local, dando nombre a entidades que se suponen discretas —ríos, lagos, lluvia de otoño, sequías, inundaciones—, pero *el agua constituye un todo, un único recurso* distribuido en cinco compartimentos —océanos, casquetes polares, continentes, biosfera y la atmósfera— *unificado*, como veremos, a través del ciclo hidrológico.

La distribución del volumen total de agua en la Tierra es altamente asimétrica (Figura 1) y su disponibilidad para los organismos terrestres y los seres humanos es muy desigual en función de su accesibilidad y su concentración iónica. Esta irregular y heterogénea distribución del agua en la Tierra, especialmente en los continentes, es debida a la gran variabilidad geográfica del balance entre precipitaciones y evapotranspiración que en último término condiciona su abundancia.

Por una parte, los océanos mantienen el 97,4 % de toda el agua de la Tierra. Este volumen almacenado sería suficiente para satisfacer con creces las demandas actuales y futuras, pero al tener de una manera natural una

buena cantidad de sales (35 g/l) resulta demasiado salada para que el ser humano y otros organismos terrestres puedan utilizarla directamente sin rebajar su salinidad.

El agua dulce representa por tanto sólo el 3% del agua del planeta y es en los casquetes polares y glaciares en donde se encuentra las mayores reservas, alrededor del 2%. Esta cantidad de agua sería suficiente para mantener a todos ríos del mundo con un flujo importante durante 900 años, pero al encontrarse en forma sólida tampoco está disponible directamente para los seres vivos.

La atmósfera alberga tan sólo una cienmilésima parte del agua del planeta (0,0009%) pero constituye el compartimento más importante dentro del ciclo del agua, dada su importancia clave en la determinación del clima y de los patrones de precipitación. Hay que tener presente que la precipitación constituye la única fuente de entrada de agua dulce para los organismos y ecosistemas de los continentes y el acceso prioritario para los seres humanos. Aunque el agua almacenada sea unas 10 veces mayor que la que contienen los sistemas fluviales, la mayor parte se encuentra en forma de gas por lo que no puede ser utilizada directamente.

El ser humano, al igual que otros organismos, va a encontrar el tipo de agua adecuada para su consumo en los continentes, que es en donde está almacenada el resto del agua dulce del planeta (1%) que se encuentra en forma líquida. En primer lugar es en los acuíferos donde está el reservorio de agua dulce líquida más importante del planeta (0,76%) pero no toda ella está disponible. La reserva de agua del suelo por el contrario, aunque supone un porcentaje muy pequeño (0,01%), es de vital importancia para entender el funcionamiento de los ecosistemas terrestres por lo que supone de abastecimiento hídrico para las plantas.

Casi toda la cantidad que resta, excepto la contenida en el cuerpo de los seres vivos, corresponde a los ríos, lagos y humedales, que representan una porcentaje muy pequeño (0,013 %). Además hay que tener en cuenta que, a diferencia de lo que se piensa, existe sobre los continentes prácticamente igual cantidad de agua salina que dulce. En este sentido, no es correcto, especialmente en las regiones secas o muy secas del planeta, definir a las aguas continentales como las aguas dulces (freshwaters).

Pareciera que el agua dulce disponible directamente para los seres humanos y sus actividades es muy escasa (ríos, lagos de agua dulce y

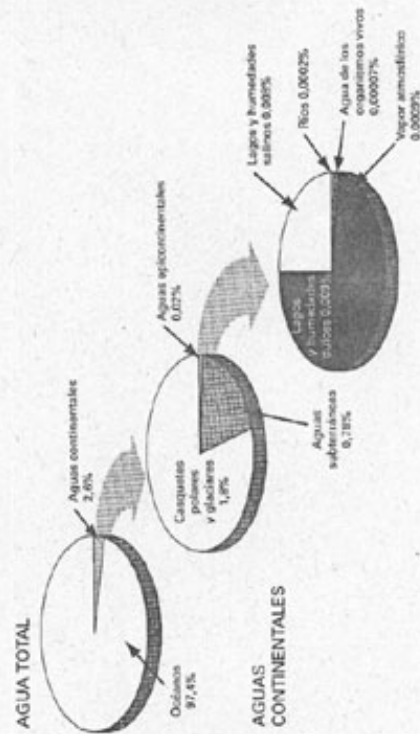


Figura 1. Distribución relativa del agua en el planeta.

parte de la contenida en los acuíferos) pero esto no es cierto, ya que es necesario tener en cuenta no sólo el volumen almacenado en cada compartimento sino también su tiempo de renovación o, lo que es lo mismo, el período de tiempo necesario para que toda el agua que contiene un compartimento se renueve. Este parámetro nos da una buena idea del dinamismo de cada reservorio y nos permite evaluar su fragilidad frente a diferentes modelos de explotación. Se puede apreciar como existen valores muy desiguales y así encontramos como el agua pasa el menor tiempo en la atmósfera (9 días) y el más largo en las capas más profundas de los océanos (3.000-4.000 años) y sobre todo en los casquetes polares (10.000 años).

Bajo esta perspectiva, aunque el contenido en agua en la atmósfera es muy pequeño, este compartimento es fundamental en la determinación de las condiciones climáticas del planeta. Es muy sensible frente a perturbaciones de origen antrópico pero, por su elevado dinamismo (altísima tasa de renovación), es muy reactivo y posee un gran capacidad de recuperación una vez que cesa la alteración. Algo similar ocurre con los ríos y lo contrario con determinado lagos y sobre todo con los acuíferos que aunque pueden ser muy resistentes a las perturbaciones de origen antrópico una vez alterados son muy difíciles de restaurar dada su bajo tiempo de renovación.

Todo esto nos viene a decir que *no es cierto que el agua dulce sea un recurso escaso* por su reducido volumen almacenado si no que es necesario saber gestionarlo en función de las tasas de renovación de los ecosistemas acuáticos que la mantienen y de su desigual distribución en el espacio y en el tiempo.

1.3. Las huellas del agua en nuestro planeta

El agua en su forma líquida, ha estado presente desde fases muy tempranas de la evolución del planeta. Su abundancia ha permitido que, con tiempo suficiente, ella fuese un factor de modulación del escenario físico y biológico terrestre.

La mayor parte de la arquitectura del paisaje actual e histórico de la Tierra tiene la huella o impronta de la acción del agua. El relieve y mode-

lado de la superficie del planeta ha estado sometido desde sus comienzos hasta ahora a la acción del agua bajo diferentes formas: lluvia, escorrentía, ríos, nieve, hielo. De este modo ha desgastado montañas, labrados los valles de los ríos, creado los paisajes kársticos, glaciares, etc.

Como hemos comentado, la abundancia de agua constituye el rasgo más característico de nuestro *planeta azul* y ha sido esencial para el desarrollo de la vida. Debido a sus propiedades tan especiales el agua es una sustancia muy adecuada para posibilitar la aparición de organismos y crear un ambiente propicio para la vida tal y como se presenta en nuestro planeta. De esta forma, la materia viva está fuertemente hidratada y gran parte de los procesos químicos que caracterizan la vida tienen lugar en una matriz acuosa. *Hablar de la vida en la Tierra es hablar de la fisico-química de las soluciones acuosas.*

La vida surgió ligada al agua y desde entonces no ha podido independizarse de ella. Todos los seres vivos están formados en un alto porcentaje de su peso por agua, entre un 60 a 95 % del peso total. Su papel básico es mantener en disolución todos los compuestos del metabolismo de los organismos. Como ejemplo, un ser humano puede pasar varias semanas sin comer pero no más de dos o tres días sin beber (envenenamiento por falta de orina, cristalización de productos del metabolismo por falta de agua). *Los seres vivos dependen del agua pero el agua no depende de los seres vivos.* La ausencia permanente de agua significa muerte, falta de vida.

2. Agua y ecosfera

De una forma tradicional, en nuestro planeta se distinguen tres grandes compartimentos abióticos: una litosfera o parte sólida, una atmósfera o masa gaseosa y una hidrosfera o masa líquida. La biosfera como fase viva se localiza en la intersección o fronteras de los otros compartimentos no vivos. Necesita del agua de la hidrosfera como sustrato, el oxígeno de la atmósfera y el soporte y determinados elementos de la litosfera. Pero el agua no solo es necesaria como sustrato de la vida sino que además es indispensable para el mantenimiento global de nuestro planeta mediante su movimiento, a través de cada uno de estos grandes compartimentos no vi-

vos, denominado *ciclo del agua* a modo comparativo con los ciclos bio-geoquímicos del planeta.

2.1. El ciclo del agua

El agua puede encontrarse en tres estados físicos (sólido, líquido, gas) según gane o pierda energía. El paso de un estado a otro hace que esté continuamente transfiriéndose de un compartimento a otro dando lugar a un modelo cíclico de movimiento (Figura 2.). Presenta dos partes principales; la denominada *fase terrestre* que abarca los procesos de transporte y almacenamiento del agua en los continentes y en el mar y la *fase atmosférica*, que comprende el transporte de agua por la atmósfera, básicamente en forma de vapor.

El ciclo hidrológico es un sistema complejo de circulación ininterrumpida que asegura los procesos de destilación y transporte del agua en todas sus formas, colectándola, purificándola y distribuyéndola alrededor

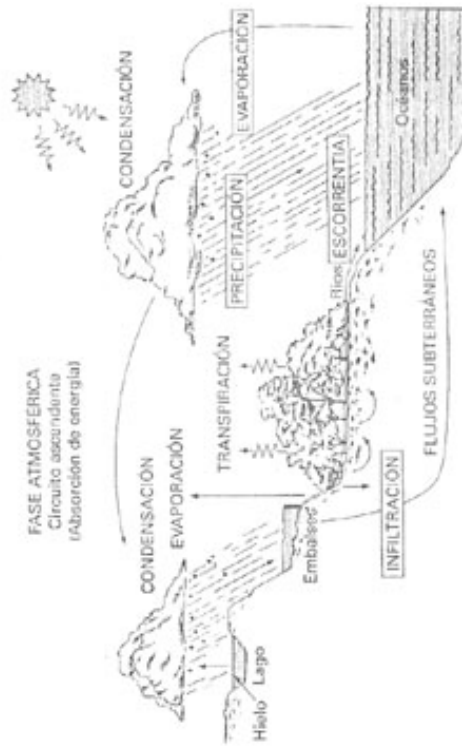


Figura 2. Representación esquemática del ciclo del agua mostrando las rutas más importantes y los procesos que condicionan su reciclado y depuración.

del planeta. Los principales procesos que condicionan su reciclado y purificación son la *evaporación*, *transpiración*, *precipitación* y *escorrentía*. De cualquier forma, hay que tener presente que no toda el agua del sistema participa constantemente en el ciclo hidrológico ya que determinadas cantidades permanecen durante períodos variables de tiempo en los distintos compartimentos, según sus tasas de renovación.

Dentro de este contexto, las *aguas subterráneas* denominadas por el profesor GONZÁLEZ BERNÁLDEZ *la cara oculta del ciclo del agua o las alcantarillas del paisaje* juegan un papel ecológico fundamental, en la organización y funcionamiento de los ecosistemas de la superficie de los continentes, especialmente de sus regiones áridas o semiáridas.

Desde una perspectiva energética tenemos que tener presente que se necesita disipar una gran cantidad de la energía solar que llega a la superficie de la Tierra (0,23%) para mover el ciclo hidrológico y los sistemas climáticos asociados. Por este motivo, y bajo un enfoque global o sistémico, el ciclo del agua hay que entenderlo como una gran máquina térmica o un gigantesco destilador que utiliza una cuarta parte de la energía que llega del sol.¹ Bajo este mecanismo se transporta en forma de vapor de agua grandes cantidades de calor desde el Ecuador hasta los polos, suavizando el clima y haciendo más comfortable la vida en las latitudes y altitudes elevadas.

También en términos energéticos el *ciclo del agua* presenta dos componentes: una ascendente, a través de la evaporación accionada por la energía solar y otra descendente movida por la fuerza de la gravedad que, mediante la precipitación va liberando energía. Este circuito descendente es aprovechado por diferentes tipos de ecosistemas (ríos, lagos, humedales) y es utilizado también por los seres humanos para obtener diferentes bienes y servicios (energía hidroeléctrica, producción de alimentos, etc.).

En resumen, el *ciclo hidrológico* entendido como un *sistema de flujos de agua y energía* que interconecta los distintos compartimentos o esferas (hidrosfera, litosfera, atmósfera, biosfera), es clave para comprender el funcionamiento de los procesos que mantienen la vida en el planeta porque:

¹ Recordemos que la fotosíntesis, entendida por el público en general como el aprovechamiento por excelencia de la energía solar, tan sólo emplea menos de un 1% de la radiación que llega al planeta.

- Transforma el agua salada de los océanos en agua dulce y la transporta a los continentes.
- Los sistemas ecológicos que conforman la biosfera dependen de un flujo de energía y de un ciclo de nutrientes o elementos esenciales para la construcción de sus biomoléculas. En este contexto y debido a la capacidad como disolvente del agua, el ciclo hidrológico es el principal vehículo de transporte de nutrientes a los ecosistemas terrestres y acuáticos. Sin el ciclo del agua los ciclos biogeoquímicos no funcionarían y no se podría mantener la vida en nuestro planeta.
- El ciclo del agua afecta al balance de calor de la Tierra al transportar calor desde las latitudes bajas a las altas. Hace menos desiguales las variaciones térmicas de la superficie del globo en relación a los gradientes internos esperados. En general, es el responsable del clima tan singular que posee nuestro planeta, propicio para el desarrollo de la vida.

Bajo esta perspectiva, la atmósfera, océanos y los continentes forman un sistema planetario unido por el agua y conducido por la energía solar. La evaporación, precipitación, retención y transporte mantienen estable el *balance global de agua* sobre el planeta.

El mar tiene una tasa de renovación muy baja y un balance precipitación-evaporación muy diferente a la de los continentes. En los océanos se evapora más agua de la que llueve. Esta diferencia supone unos 40.000 km³ anuales, que es el agua que va a circular por los continentes. Este agua evaporada se desplaza muy rápidamente por la atmósfera hasta caer en los continentes (unos diez días) formando parte de sus distintos tipos de ecosistemas acuáticos (ríos, lagos, humedales, acuíferos), moviéndose según sus tiempos medios de renovación (desde días hasta miles de años). Dado que en los continentes la precipitación es mayor que la evaporación, el exceso de precipitación, (40.000 km³) vuelve al mar a través de los ríos. Así pues cabe considerar que el ciclo hidrológico del planeta es cerrado ya que las precipitaciones anuales medias equivalen a la evaporación anual en los océanos y continentes.

El ser humano incrementa la escorrentía superficial y hace decrecer la infiltración del suelo al dismantelar la cubierta vegetal, drenar los humedales, urbanizar el suelo. Por otra parte intenta mediante diferentes actua-

ciones (embalses, canalizaciones, transvases, etc.) impedir que el exceso de la precipitación de los continentes vaya al mar. No es suficientemente consciente de que todo el agua que usamos es reciclada, cada gota que bebemos, con la que cocinamos, con la que lavamos o regamos ha sido utilizada anteriormente un número incontable de veces.

Este proceso natural de reciclado funciona y ha suministrado y suministrará agua dulce para las diferentes demandas de nuestra civilización si no se contamina o no se altera su funcionamiento. Desgraciadamente día tras día estamos interrumpiendo el ciclo del agua y como consecuencia hacemos que el agua como recurso sea cada vez más inaccesible.

Esta panorámica ecológica y global del ciclo de agua nos muestra la estrecha relación que existe entre los ambientes físicos y geográficos de la Tierra. Es necesario para la estabilidad de nuestro planeta que se mantenga el balance global del agua. Si la gestión de los recursos hídricos se considera, como ocurre frecuentemente, un problema local o nacional en vez de un problema global, determinados macroproyectos, pueden afectar al planeta en su conjunto o a buena parte de él. Todo esto nos enseña que la gestión de los recursos hídricos del planeta hay que hacerla en el contexto de los ecosistemas acuáticos conceptuados como un todo, como una entidad unitaria, integrada y dinamizada a través del ciclo hidrológico. En este sentido, podemos considerar como emblemático el famoso lema *Piensa Globalmente y Actúa Localmente*, adoptado por la Asociación Internacional de Recursos Hídricos (IWRRA). Pero, desgraciadamente la sociedad humana sigue aún sin percibir la importancia del ciclo del agua, y lo que es más importante, sin respetar su carácter cíclico. Todavía seguimos hablando de buen y mal tiempo, de desequilibrios hidrológicos, de pertinaz sequía, inundaciones catastróficas, etc.

2.2. La «cuenca hidrográfica» como unidad funcional de estudio y gestión

El conjunto de ambientes terrestres que drenan el agua que se dirige a una determinada lámina de confluencia, ya sea un lago, río o humedal, se denomina *cuenca hidrográfica*. El agua en su camino hacia la cubeta de cualquier medio acuático, al atravesar el medio terrestre, altera sus caracte-

terísticas físicas y composición química. Es un proceso complejo en el que están implicados factores externos e internos a la cuenca como la climatología, relieve o litología que en último término afectan, según el balance precipitación- evaporación, a la hidrología superficial y subterránea que condiciona el régimen hidrológico de sus ecosistemas acuáticos. En el espacio delimitado por su divisoria de aguas se produce una estrecha interrelación de todos sus componentes bióticos y abióticos dentro de un dinamismo espacio-temporal vertebrado alrededor del ciclo del agua. Todos los procesos que tienen lugar en la cuenca quedan reflejados con mayor o menor intensidad en la composición físico-química de las aguas, sedimentos y comunidades de organismos de sus ríos, lagos o humedales.

Es imposible, por tanto, entender, en toda su dimensión, el estado actual de un cuerpo de agua, sin tener presente lo que ha ocurrido y ocurre en su cuenca. La intensidad de esta relación no es igual en todos los tipos de ecosistemas acuáticos, depende del grado de interacción entre su lámina de agua y los sistemas terrestres adyacentes. Es en los ríos donde esta relación es mayor. Éstos poseen una gran superficie de interacción con los sistemas terrestres, constituyendo sus aguas los mejores sensores de lo que pasa en su cuenca, es decir, de la componente terrestre del ciclo del agua.

Una red fluvial típica consta de una serie de aparatos fluviales o segmentos que se organizan en un sistema de evacuación cada vez con menos cauces de tal manera que el número de tramos equivalentes es mayor en sus zonas de cabecera. En este contexto, y en contra de lo que piensan muchas personas, es más importante proteger en su totalidad los tramos medios y bajos de los ríos que los altos donde hay una mayor probabilidad, en caso de que se produzca alguna alteración, de encontrar ambientes similares bien conservados. Además los tramos medios y bajos de los ríos son los que poseen un mayor carácter regional, es decir, recogen mejor la información de su cuenca.

La cobertura de la vegetación de la cuenca posee un papel importantísimo en la regulación del flujo de agua de su red fluvial tanto en cantidad como en calidad. La vegetación actúa como una esponja modulando espacio-temporalmente el caudal que circula por los cauces.

Las cuencas hidrográficas constituyen las unidades territoriales básicas de la gestión de los recursos hídricos de un territorio. Se nos presentan como una especie de gran organismo vivo cuya orina sería el agua que re-

corre los cauces de su red fluvial. Un análisis del agua (estudio ecológico) nos permitirá fácilmente dar un diagnóstico de su estado de salud (nivel de alteración de sus condiciones de equilibrio) del individuo (cuenca) y las causas y consecuencias generales de su enfermedad (validez de la gestión territorial aplicada). Hay que tener también presente que, al igual que con los organismos vivos, cada cuenca es única, presentando características propias difíciles de clasificar, incluso en términos de estructuras administrativas, demográficas, institucionales y políticas. Existen unos principios generales sobre la gestión de cuencas pero no existen fórmulas o modelos generales que puedan aplicarse de la misma forma a todas. Es necesario estudiar cada caso en particular. En la actualidad cada vez más países realizan la *ordenación del territorio* incluida la administración de sus ecosistemas acuáticos y el suministro de agua que representan basándose en el modelo de Gestión Integrada de Cuencas.

Por todo lo comentado, la *cuenca hidrográfica* debe ser considerada como la *unidad funcional básica del territorio*, ya que representa la unidad ecológica mínima en la que el ciclo del agua interacciona con los continentes y por tanto debe considerarse como la unidad mínima de gestión en cualquier análisis o estudio, ya sea de carácter básico o aplicado. Desde la charca o arroyo más pequeño hasta el lago o río más grande responden, con mayor o menor intensidad, al mundo que les rodea. Bajo este enfoque, es necesario tener muy en cuenta las tramas territoriales en las que está implicada el agua, ya que tanto el paisaje natural como los fenómenos que subyacen en él sufren importantes modificaciones al manipularse el ciclo del hidrológico en el contexto de las cuencas.

2.3. Los ecosistemas acuáticos continentales

En la naturaleza no existen entidades discretas, el mundo natural se nos presenta como un *continuum*. Sin embargo, el ser humano intenta imponer una serie de categorías para clasificar los distintos tipos de paisajes que percibe. De esta forma, se habla de ecosistemas terrestres y acuáticos, aunque existan toda una serie de ambientes costeros o interiores que están, por su marcada variabilidad espacio-temporal, en la frontera entre el agua y la tierra. Éste el caso de las zonas húmedas o humedales.

De una forma tradicional la Hidrosfera se distribuye en dos secciones, los mares u océanos y las aguas continentales. A diferencia del medio marino la gran diversidad paisajística que presentan las masas de agua situadas sobre los continentes ha generado un léxico muy importante (lago, laguna, charca, tremedal, bodón, navazo, estero, tabla, etc.) que intenta recoger la variedad de manifestaciones visuales que podemos percibir relacionadas con su tamaño, forma, color, profundidad, cantidad y calidad de sales disueltas, tiempo de permanencia del agua, etc.

Pero, ¿existe realmente tal variedad de ecosistemas acuáticos? La respuesta sería que, desde una perspectiva ecológica, esta diversidad de paisajes del agua es más aparente que real. Si analizamos conjuntamente todas estas entidades tratando de caracterizar los procesos que subyacen en la escena percibida (ocultos a nuestros sentidos), vemos que existe una unidad de funcionamiento común a todos los sistemas ecológicos de la Ecosfera.

La unidad funcional de todos los ecosistemas se relaciona con su flujo abierto de energía y el ciclo de materia. Es la única obra que se representa en este «Teatro Ecológico», como se ha definido a nuestro planeta. Los actores y el escenario pueden cambiar pero la representación es siempre la misma. Para que se pueda interpretar la función, la gran mayoría de los ecosistemas de la Ecosfera (en este caso los acuáticos), están formados por tres componentes básicos: productores primarios, consumidores y materia orgánica/inorgánica. Las plantas verdes denominadas productores primarios o autótrofos fijan la energía lumínica del Sol a través de la fotosíntesis para elaborar compuestos del carbono (energía química) a partir del CO_2 , sustancias inorgánicas y agua. El metabolismo autótrofo controla la entrada del flujo energía al sistema y solo puede llevarse a cabo en las zonas iluminadas de los ecosistemas constituyendo su banda verde.

Los consumidores o heterótrofos toman la materia orgánica sintetizada por los autótrofos, la procesan y finalmente la descomponen en compuestos inorgánicos, cerrando de esta forma el ciclo de materia. La componente heterotrófica se subdivide en dos; consumidores propiamente dichos y los descomponedores. Los descomponedores o bacterias y hongos rompen la materia orgánica muerta en sustancias inorgánicas poniéndolas de nuevo en circulación. La actividad heterotrófica de los descomponedores controla el reciclado de los materiales y se localiza en los ecosistemas, básicamente, en aquellas zonas donde se acumula la materia orgánica,

constituyendo la banda marrón o estrato inferior de los ecosistemas siempre debajo de la banda verde. Los consumidores o animales se alimentan de tejidos vivos o muertos controlando la tasa del flujo de energía y materiales en el sistema pudiéndose situar en cualquier lugar. Por último la componente abiótica constituye el reservorio de la materia orgánica particulada y disuelta, crítica para el reciclado de los nutrientes.

Bajo este esquema general y único de funcionamiento de cualquier ecosistema acuático, existen varias formas de organización del espacio. Las comunidades biológicas en función de la energía externa y la accesibilidad de nutrientes se segregan espacial y temporalmente como resultado de la selección impuesta por las condiciones físico-químicas locales. Encontramos una comunidad que vive en suspensión en las aguas libres, sin contacto con las interfaces limitantes, que se denomina *plankton*, que a su vez se subdivide en *fito* y *zooplankton*, según formen parte de la componente autótrofica o heterotrófica del sistema. La comunidad que vive en la interfase entre el agua y los materiales sólidos de la cubeta se denomina *benitos*. Los organismos que son capaces de dominar las corrientes y los movimientos del agua desplazándose por varios ambientes del sistema se denominan *necton*.

Aunque existe una unidad funcional para todos los sistemas ecológicos, su gran heterogeneidad estructural y su dinamismo explican el hecho de que no haya un modelo general o fórmula universal para la conservación de la integridad de los ecosistemas acuáticos ni para la gestión de los recursos hídricos que representan. Existen unos principios generales de gestión, pero es indispensable desarrollar actuaciones apropiadas para cada tipo de ecosistema. No es lo mismo gestionar un río, que un lago o un acuífero. Esto nos conduce a que, si queremos desarrollar un plan estratégico regional para la explotación-conservación de los recursos hídricos de un territorio, sea necesario elaborar una clasificación de los ecosistemas acuáticos que los suministren en el marco de las cuencas hidrográficas.

Podemos distinguir dos grandes tipos de ecosistemas acuáticos continentales: los que están en su superficie (epicontinentales) y los subterráneos (acuíferos). Respecto a los epicontinentales la existencia o no de un flujo de agua determina dos tipos estructurales de ecosistemas; lóticos o de aguas fluyentes (ríos) y leníticos o de aguas estancadas (lagos y humedales).

En los primeros, los ríos, todo el sistema se organiza alrededor de un eje longitudinal cabecera-desembocadura. Con un tiempo de renovación muy breve (10-12 días) el agua circula con gran rapidez hacia el mar transportando materiales disueltos y en suspensión. Se trata de un sistema de transporte horizontal con un dinamismo básicamente abiótico impuesto por la direccionalidad de un flujo turbulento que genera una gran variabilidad ambiental. El factor ecológico clave que determina la integridad de estos ecosistemas va a ser el régimen de caudales que circula por su cauce. El río posee un marcado carácter heterotrófico mantenido por una aportación de materia orgánica procedentes de la cuenca y que explica su capacidad de autodepuración cuando se le somete a la tensión de un vertido orgánico.

Dentro de los ambientes de aguas quietas o lentificas la profundidad genera un gradiente de organización estructural en cuyos extremos se sitúan los lagos y los humedales. Los lagos o masas de agua profundas constituyen los ejemplos más claros de una organización alrededor de un eje vertical definido por la gravedad y un gradiente de luz que genera dos compartimentos: uno autotrófico donde predominan los productores primarios y otro heterotrófico donde no llega luz suficiente como para que se pueda realizar la fotosíntesis, donde se desarrollan consumidores y descomponedores. Ambos subsistemas se encuentran acoplados a través de un flujo químico que va del *plankton* al *bentos*. Su dinamismo viene determinado por su régimen térmico que define los periodos y duración de las fases de estratificación y mezcla. La gravedad hace que cualquier elemento que entre en su cubeta tenga una alta probabilidad de ser transportado hacia el fondo permaneciendo un tiempo medio determinado según su tasa de renovación que a diferencia de los ríos puede variar entre 1 a 100 años, por este motivo es mucho más difícil limpiar un lago que un río contaminado. Cuando la luz no es un factor limitante de la producción primaria nos encontramos frente a los cuerpos de agua poco profundas o *humedales* caracterizados por un elevado dinamismo espacio-temporal y un eje de organización horizontal orilla-centro. Son ecosistemas muy reactivos y difíciles de gestionar, ya que su integridad depende de múltiples factores y procesos ecológicos que tienen lugar en sus cubetas y cuencas y que se expresan a distintas escalas espaciales y temporales.

Respecto a las masas de agua situadas por debajo de la superficie de los continentes encontramos a los *acuíferos* que son algo más que una colum-

na filtradora que suministra agua para el desarrollo de determinadas actividades humanas. Están llenos de vida, básicamente se encuentran poblados por comunidades bacterianas que juegan un papel esencial en determinados procesos geoquímicos, a los que se consideraba sólo dependientes de factores abióticos. Son por consiguiente sistemas ecológicos abiertos, típicamente heterotróficos ya que al no existir producción primaria dependen de la producción de otros ecosistemas epicontinentales. Los acuíferos poseen una gran importancia en la definición de la funcionalidad de muchos ecosistemas acuáticos y terrestres de la superficie de los continentes que reciben sus descargas ya que por ellos circula un flujo de agua lleno de energía química y materiales que será en parte, procesado en su interior y en parte utilizado por los sistemas epicontinentales que alimenta.

Estas diferencias en la composición y estructura y por tanto en comportamiento entre los ecosistemas acuáticos epicontinentales y subterráneos nos obligan a gestionarlos de una forma diferente. Como ejemplo, dado que el volumen de agua almacenada en los acuíferos es muy superior a la suma de la de los lagos, embalses o ríos y se mueve con una gran lentitud (decenios y hasta milenios) respecto a los ecosistemas epicontinentales (de días hasta años) poseen una gran inercia que les hace estar menos sometidos a la variabilidad del clima. Esta característica apoya la explotación conjunta de las aguas subterráneas y superficiales para gestionar los recursos hídricos en zonas donde se producen episodios de sequía. Durante los ciclos húmedos se usa el agua superficial sobrante para recargar natural y artificialmente los acuíferos y durante la sequía se bombean las aguas subterráneas. De esta forma no haría falta construir nuevos embalses y se evitaría toda una serie de problemas y externalidades negativas no deseadas. Otro aspecto sumamente importante de cara a su gestión es su vulnerabilidad frente a la contaminación. Los acuíferos aunque son bastante resistentes a la contaminación frente a la fragilidad de ríos y lagos una vez alterados, dadas su bajas tasas de renovación y la lentitud de sus flujos, su descontaminación suele ser un proceso complicado, largo y muy costoso. Los lagos y especialmente los ríos tienen una gran capacidad de recuperarse una vez que haya cesado el vertido o cualquier otra perturbación de origen antrópico.

Por último, y bajo una perspectiva sistémica, las aguas continentales contribuyen cuantitativamente muy poco al balance total de materia y

presencia de láminas de
ntes (hidrofilia) juegan un
elementos universales de
strales. Los paisajes con
psicofísico que induce al
ajación notable. Este pa-
muy diferentes y en dis-

do distintos tipos de eco-
para utilizarlos como de-
evacuación de residuos y
aron y se desarrollaron al-
rollo de grandes pueblos,
ales como el Nilo y la ci-
lización Sumeria o la la-
influjó también ha sido
los determinando a gran-
limitando fronteras natu-
culturas prósperas e influ-
do presente en diferentes
intura, música) activando

ía, derecho, ocio, salud...
uficientemente intenso y
auténtica cultura del agua.

del agua

ha estado asociada con la
has recientes, del mismo
s, la materia prima para
gua ha sido su disolvente
productivas zonas áridas,
energía, realizar procesos
cada vez más importante,

de producción en sentido tecnológico existen otro tipo de demandas de agua.

Por una parte existe una demanda fisiológica o de subsistencia, es decir el agua necesaria para mantener nuestro equilibrio hídrico. Las cifras son muy parecidas para todos los individuos del planeta en condiciones normales de actividad (unos dos litros diarios). Por otra, hay una demanda que podríamos llamar cultural es decir, el agua que empleamos para cocinar, lavarnos, ducharnos, bañarnos, fregar, inodoro, piscinas, regar, fuentes, etc. y que paradójicamente, en la mayoría de los casos, toda ella es potable. Si la demanda fisiológica es prácticamente la misma para todos los seres humanos, no ocurre lo mismo con la demanda cultural en donde existen unas asimetrías muy marcadas alrededor del denominado eje Norte-Sur.

Mientras que en los países subdesarrollados existen problemas graves para satisfacer incluso el consumo fisiológico, en las sociedades desarrolladas la demanda crece de una forma constante y alarmante, actuando como si las disponibilidades del recurso fueran prácticamente ilimitadas. El consumo medio por habitante y día se sitúa en un país desarrollado en 268 litros que obtiene de la red de abastecimiento a un bajísimo precio y de los que solo utiliza un 0,8% para beber. El despilfarro mayor de agua se produce en los cuartos de baño donde se consumen del 50 al 65 % del total diario. Como ejemplo del derroche, empleamos unos 10 litros de agua potable para diluir unos decilitros de orina. Además hoy día uno de los indicadores del nivel de calidad de las viviendas está en el número de baños y aseos que posee. Por el contrario en muchos países subdesarrollados el consumo por habitante es 70 veces menor teniendo además que desplazarse, a veces hasta distancias considerables, hasta un pozo o fuente para obtenerla sin garantías de potabilidad. Se usa para lo imprescindible; beber, cocinar, lavarse y fregar, midiendo cada litro que se consume.

Para evaluar las demandas de agua sus usos se agrupan en doméstico o abastecimiento (aseo, cocina, inodoro), industrial (fabricación de bienes manufacturados, refrigeración) y agrícola (regadíos). Por otra parte hay que tener en cuenta que no toda el agua extraída es consumida y por tanto en una mayor o menor proporción vuelve a los ecosistemas acuáticos. También gran parte del agua transportada se evapora o transpira. En el abastecimiento urbano el bajo grado de eficiencia de la redes de distribución es,

en muchas ocasiones, es un problema añadido ya que gran parte del agua captada se pierde en las fugas de las conducciones. La fracción de agua que no llega a su destino por esta causa en algunas ciudades densamente pobladas alcanza proporciones muy importantes. En general a nivel mundial alrededor del 60% del agua extraída es consumida.

La mayor parte del agua extraída (70%) se destina a la agricultura de regadío que contribuye al casi 40% de la producción mundial de alimentos utilizando solo el 17% de las tierras cultivables. Dada la antigüedad de la mayoría de sus redes de distribución y lo inadecuado de los métodos de riego existen grandes diferencias entre el agua extraída y la realmente consumida, por lo que la agricultura de regadío es la consumidora y despilfarradora mas importante del agua dulce. El aumento de la demanda alimentaria y la utilización de plantas de alto rendimiento ha sido la responsable de que la extracción de agua para riego se haya incrementado en mas de un 60% desde 1960. Si bien es cierto que el regadío ha contribuido significativamente a satisfacer la demanda mundial de alimentos ha generado graves impactos ambientales, como la simplificación del paisaje y por consiguiente una pérdida importante de biodiversidad. También ha sido la fuente de graves problemas de contaminación por fertilizantes, pesticidas y otros productos tóxicos. Pero sobre todo ha sido la causa de la construcción de grandes infraestructuras (embalses, canales, trasvases) que han ocasionado importantes alteraciones en la estructura y funcionamiento de múltiples tipos de ecosistemas terrestres y acuáticos así como importantes disfuncionalidades en las tramas territoriales.

Por otra parte, alrededor del 20% del agua extraída se utiliza para la producción de energía y procesos industriales. Aquí hay que tener presente que el procesado de muchos productos de uso común en nuestra sociedad gasta grandes cantidades de agua de la que no somos conscientes cuando los consumimos. Por ejemplo para producir una lata de cerveza puede llegar a consumirse 63 litros de agua, fabricar un coche gasta aproximadamente 3.800 litros, un kilo de papel 250 litros, un kilo de algodón 10.000 litros, un kilo de pollo 6.000 litros y un kilo de pan 400 litros.

Respecto al consumo del agua para abastecimiento es decir, para uso doméstico o municipal es aproximadamente un 10% a nivel mundial llegando al 13 y 16% en países industrializados. Las cifras de consumo más alto se dan en Estados Unidos seguidos de Canadá y Suiza. Aunque en

cantidad no llega a ser una cifra importante respecto al total del consumo si exige una gran calidad. La tendencia al incremento de uso de agua para abastecimiento e industrial trae consigo un aumento considerable de pérdida de su calidad provocada por la contaminación de los vertidos.

Como consecuencia de esta demanda creciente este siglo ha vivido el aumento más acelerado de la historia de la humanidad. Entre 1900 y 1995 la extracción de agua se ha sextuplicado y ha llegado a ser dos veces superior a la tasa de crecimiento demográfico. Este rápido aumento de la demanda está ocasionando una fuerte presión sobre los recursos hídricos de muchas regiones del mundo de tal forma que cerca del 10% de la población mundial viven en países que pueden considerarse en una situación crítica y se estima que de seguir con esta situación dos tercios de la población mundial se enfrentarán a problemas de escasez de agua para el año 2025.

Por otra parte, casi 150 de las 214 cuencas fluviales más grandes de la Tierra afectan a dos países y 50 cuencas son compartidas entre 3 a 10 países. Juntas mantienen el 40% de la población mundial y todos sus países reclaman sus derechos al uso libre de sus recursos hídricos. Es en el Medio Oriente donde los desequilibrios entre los límites políticos y naturales (interacción del ciclo del agua con la cuenca hidrográfica) se magnifican. Las aguas de los ríos Jordán, Tigris-Eufrates y Nilo son reclamadas por países como Israel y Siria, Irak y Siria, Egipto, Etiopía y Sudán. También dentro de los propios países se producen importantes conflictos regionales por el control del agua de las cuencas intercomunitarias (Aragón y el control de las aguas del río Ebro, en España). El agua se ha convertido y será aún mayor en el futuro un tema de conflicto y de tensión internacional creciente. Cada vez es más frecuente oír hablar de las futuras guerras por el agua más que los por recursos energéticos fósiles.

Por otro lado hay que tener en cuenta que el volumen de agua en el planeta fácilmente accesible a la sociedad humana es del orden de 12.500 km³ de los que se utiliza aproximadamente la mitad. Dado que se prevé un incremento de alrededor del 50% de la población mundial en los próximos cincuenta años, unido a un aumento de la demanda como resultado del crecimiento económico y cambio de estilo de vida, no quedan muchas posibilidades de seguir incrementado la demanda sobre todo si queremos mantener determinados volúmenes de agua y un nivel de funcionalidad de

los ecosistemas acuáticos que permitan mantener otras actividades con repercusiones económicas como la pesca, la caza el transporte, la energía hidroeléctrica, etc.

3.3. El control de los recursos hídricos. La oferta de agua

La gestión del agua es una de las actividades relacionadas con la explotación del medio natural más antigua que se conoce. Varios autores han puesto de manifiesto como se puede hablar de una planificación hidrológica con una antigüedad de más de 7.000 años de antigüedad tomando como referencia las culturas sumeria y egipcia. Curiosamente los objetivos de esta paleo planificación hidrológica eran básicamente los mismos que los actuales; captar, almacenar y redistribuir agua con el fin de reducir la variabilidad natural de los flujos, principalmente los fluviales, dada la desigual distribución de éstos en el espacio y en el tiempo. Antiguamente con el pequeño tamaño de la población humana la prioridad era el abastecimiento de agua a los campos de cultivo pero en la actualidad con el espectacular crecimiento demográfico y las previsiones de abandono del medio rural para concentrarse en grandes metrópolis, se ha generado una competencia creciente entre el suministro de agua para la agricultura y las ciudades.

Aunque desgraciadamente los objetivos de la planificación hidrológica antigua y la actual sean todavía muy parecidos, es evidente que el gran aumento de la demanda de agua ha requerido un continuo reajuste de los dispositivos de captación y distribución que ha servido para impulsar el desarrollo de la tecnología hidráulica que ha permitido la construcción de numerosas presas, trasvases de aguas entre cuencas o la explotación intensiva de unos ecosistemas prácticamente olvidados como son los acuíferos. En los países subdesarrollados pueden tener o no tener suficiente agua para sus demandas, pero lo que no tienen es dinero para realizar grandes obras hidráulicas, por lo que la gente vive donde hay agua. En los países desarrollados hay dinero suficiente como para realizar grandes trasvases de agua y hacer posible el desarrollo económico de una zona desértica. La gente vive donde se quiere que viva. De cualquier forma a nivel global se considera que más del 48% de los recursos superficiales de agua dulce es-

este contexto sobre el debate actual de la construcción de grandes infraestructuras hidráulicas en 1994 el Director del United States Bureau of Reclamation institución que construye y gestiona la mayor parte de las obras hidráulicas de Estados Unidos expuso que la era de la construcción de las grandes presas había finalizado basándose en argumentos económicos, sociales, de gestión y ecológicos. Hoy sabemos que los problemas de la agricultura, el sector que más agua demanda y despilfarr, está más relacionado con la competitividad en los mercados y con la mejora de la tecnología agrícola que con la realización de grandes obras hidráulicas, que frecuentemente solo benefician a los que la proyectan y/o construyen.

Trasvases

Desde muy antiguo el ser humano ha empleado túneles, canales y tuberías para llevar las aguas desde unas cuencas a otras pero nunca había llevado a cabo proyectos de trasvases de la magnitud de los que se han realizado durante las últimas décadas.

Los proyectos de trasvases entre cuencas ocasionan problemas a ambos lados; implica la construcción de un número considerable de presas con las consecuencias económicas y ambientales ya comentadas, provoca cambios en la calidad del agua de la cuenca receptora, utiliza gran cantidad de energía en el transporte de grandes volúmenes de agua, dado que los suelos de la cuenca receptoras suelen estar en climas secos se producen a medio plazo procesos de salinización que limitan la productividad de las cosechas, la disminución de recursos hídricos de la cuenca donadora implica un aumento de los costes de distribución y depuración. En general los proyectos de trasvases de agua, a medio y largo plazo, no consiguen corregir los desequilibrios socioeconómicos que justificaron su construcción, incluso en muchos de los casos se potencian.

Bajo una perspectiva ecológica, las alteraciones y desequilibrios más importantes que se producen en los sistemas ecológicos afectados tienen su origen en la ruptura del concepto avanzado, desde el punto de vista de la gestión, de la cuenca hidrográfica como unidad funcional en su interacción con el ciclo del agua. En términos de conservación de especies los trasvases potencian el peligro de romper las barreras biogeográficas con la en-

tán regulados por diferentes tipos de infraestructuras hidráulicas que generan importantes impactos en el funcionamiento de los sistemas naturales.

Embalses

La modalidad más conocida de control de las aguas superficiales requiere un sistema de regulación basado fundamentalmente en grandes presas. Éstas permiten mantener reservas para finalidades muy diferentes: producción de energía, riego, usos industriales y urbanos, aparte del control de caudales e inundaciones.

Los embalses, aunque muchas veces necesarios, no son la panacea para solucionar las demandas de agua. Tienen grandes pérdidas por evaporación y plantean graves problemas técnicos para mantener una calidad de agua óptima para múltiples usos y evitar el atarramiento de su cubeta. Pero, son los problemas ambientales generados por la construcción de embalses los que adquieren una mayor dimensión. La alteración de las condiciones naturales dinámicas del río donde se ubica provoca una respuesta que se expresa a corto medio y largo plazo. Se producen transformaciones en los valles anegados por las aguas, en el propio embalse y aguas abajo de la presa por las modificaciones del régimen de caudales y flujos de sedimentos y nutrientes. Como resultado de todo ello muchos embalses, especialmente los de grandes dimensiones, a luz de los efectos negativos que han generado desde su construcción no se habrían hecho, al menos con las mismas características del proyecto vigente. Pero la realidad es que hoy día prácticamente todos los ríos importantes del planeta poseen un sistema de regulación por grandes embalses.

A nivel biosférico, y como apunta el profesor Ramón MARGALEF, «pretender recuperar y hacer recircular toda el agua de los ríos, antes de llegar al mar, es, como si una persona fuera obligada a beber su propia orina, lo cual es incompatible con la continuación de la vida».

Como conclusión y debido a los elevados costes económicos y medioambientales que suponen la construcción de grandes presas los proyectos deben someterse a rigurosos estudios de *Evaluación de Impacto Ambiental* que abarquen todas las dimensiones (paisajística, ecológica, socioeconómica, cultural...) incluido un análisis muy riguroso de costes-beneficios. En

TABLA 1
Bienes y servicios más importantes que suministran los ecosistemas acuáticos continentales a la sociedad humana

Bienes	Servicios
<ul style="list-style-type: none"> • Suministro de agua (doméstico, agricultura, industria). • Acuicultura. • Pesca. • Generación hidroeléctrica. • Minerales y materiales. • Reservorio genético. • Espacios para el recreo (natación y navegación). • Espacio para la educación. • Bienes culturales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de caudales. • Transporte. • Almacenamiento de agua. • Fertilización y mantenimiento de calidad de aguas y suelo. • Depuración y mantenimiento de hábitat de fauna y flora. • Asimilación de residuos. • Sumidero y fuente de nutrientes. • Retención de sedimentos. • Control de erosión. • Placer estético y emocional. • Heterogeneidad del paisaje.

dinamismo del sistema ecológico que la mantiene si queremos tener un abastecimiento sostenible de este elemento. En la gestión ecosistémica a diferencia de los modelos tradicionales que se centran en extraer de forma independiente distintos tipos de recursos (agua, pesca, energía hidroeléctrica, etc.) para abastecer las demandas del mercado su objetivo prioritario es el mantenimiento de los factores y procesos que los generan. Sus actuaciones van dirigidas hacia la protección de las funciones ecológicas de los ecosistemas acuáticos que generan bienes y servicios a la sociedad mas que a la producción de éstos.

Los ecosistemas acuáticos sanos constituyen un capital natural que es necesario conservar si queremos seguir recibiendo sus múltiples y variados servicios. Para conseguir esto, los sistemas humanos tiene que aprender a vivir dentro de las restricciones biofísicas que imponen los ecosistemas acuáticos como fuentes de recursos naturales en general e hídricos en particular o como sumideros de residuos. Como regla de entrada hay que tener en cuenta que es necesario que las tasas de extracción de agua estén

siempre dentro de las tasas de renovación de los distintos tipos de ecosistemas acuáticos que la mantienen (ríos, lagos, acuíferos). Como regla de salida hay que tener en cuenta que: las emisiones de vertidos a los ecosistemas acuáticos deben estar siempre dentro de su capacidad de asimilación, de tal forma que no se generen problemas de contaminación que degraden su capacidad de absorber residuos en el futuro y de generar otros servicios. Hay que tener presente que una gestión irresponsable de los recursos hídricos puede reducir de una forma irreversible el valor de los ecosistemas para la sociedad al perderse su capacidad de generar en el futuro servicios y bienes. Todo esto implica que la gestión del agua tiene que tener unos límites ecológicos impuestos por la capacidad de carga o acogida de los ecosistemas acuáticos.

Bajo esta forma de entender la gestión de los recursos hídricos la degradación de los ecosistemas acuáticos no es algo inevitable; es simplemente más barato y más fácil a corto plazo. El mantener la integridad de nuestros ríos, lagos, humedales o acuíferos no es incompatible con las exigencias económicas. Hoy sabemos que un medio natural sano es la base de una economía sana.

Es evidente que propuestas de explotación-conservación del agua como la que propone la gestión ecosistémica no son fáciles, ya que implican cambios de fondo importantes en los modos actuales de administrar los ecosistemas acuáticos y los recursos que ellos representan. Pero entendemos que sólo a través de aproximaciones y actitudes ecosistémicas es decir, sólo si tenemos en cuenta en la planificación y ordenación territorial los principios ecológicos que explican como se organizan y funcionan los ecosistemas, se pueden superar los errores de intervención y gestión cometidos en el pasado.

En este contexto, el futuro de los ecosistemas acuáticos de un territorio y los recursos que representan no van a ir ligados sólo al desarrollo de nuevas normativas legales o a la declaración de nuevos espacios protegidos sino al incremento de conocimientos relacionados con su organización, funcionamiento y evolución en el tiempo. Por este motivo, es necesario que dentro de las nuevas políticas del agua exista un equilibrio entre los tres pilares básicos que deberían sustentar cualquier estrategia de toma de decisiones sobre la gestión de los recursos hídricos suministrados por los ecosistemas; el científico, el social y el económico. Solo unos principios de

cooperación y no de competencia entre una investigación teórica y aplicada y entre científicos, técnicos, gestores y planificadores puede generar un marco de trabajo común. De aquí la importancia de promover una política científico-técnica con carácter multidisciplinar dirigida hacia el conocimiento de la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos y por consiguiente para la prevención y solución de problemas medioambientales relacionados con el agua.

Aunque las propuestas más avanzadas actualmente sobre gestión del agua no siguen todos los principios y procedimientos metodológicos de la aproximación ecosistémica, sí están impregnadas de su esencia. Así en Estados Unidos se ha acuñado recientemente el concepto de *Conservación del Agua* para defender un nuevo modelo de gestión basado en reducir la demanda del recurso más que incrementar la oferta promoviendo técnicas de ahorro, reciclado y eficiencia de uso junto con programas de educación, información y participación ciudadana. Por otro lado la nueva Directiva Marco sobre el Agua que la Comisión Europea está desarrollando define el concepto de *estado ecológico* que en cierta manera se asemeja a los conceptos de integridad y salud ecológica de la aproximación ecosistémica. De cualquier forma tanto desde una perspectiva ecológica como desde la denominada Hidrología Ambiental se aceptan de una forma generaliza una serie de principios y propuestas de actuación que pasan por entender que la planificación hidrológica es algo más que una suma y resta de caudales que justifica una determinada inversión en obra hidráulica. El agua es una componente fundamental de los ecosistemas en general y de los acuáticos en particular que hay que gestionar tomando como referencia el mantenimiento de la funcionalidad y dinamismo de los sistemas que la mantienen.

Hay que pasar de la gestión de la oferta de agua al control de demanda. Este principio tiene que ver con la defensa y fomento de los sistemas de ahorro, reciclado y eficiencia de los sistemas de uso del agua antes de plantearse un incremento de la ofertas. En otras palabras la lucha contra el despilfarro. Como hemos comentado existen múltiples hechos que demuestran que la escasez de agua no es producto de la falta de recursos hídricos sino de una mala gestión de los ecosistemas acuáticos que la suministran. En vez de preguntarnos cuánta agua necesitamos y dónde podemos conseguirla deberíamos preguntarnos cuánta agua hay disponible en nues-

tros ecosistemas acuáticos y cómo podemos beneficiarnos de ella junto con otros muchos y variados bienes y servicios. En este contexto es necesario controlar especialmente los usos agrícolas y urbanos. Por ejemplo ¿qué sentido tiene producir más alimento aumentando la superficie de regadío si no maximizamos las técnicas de riego de los ya existentes? o ¿qué sentido tiene incrementar la oferta de agua a las ciudades si el consumo por habitante/día es exagerado y un porcentaje muy importante del agua aplicada se pierde en su distribución? Con tecnología de la que disponemos actualmente los agricultores podrían disminuir sus demandas de agua entre un 5-10%, las industrias un 40-90% y las ciudades un tercio sin ningún sacrificio económico o de calidad de vida.

La explicación de esta gran contradicción se encuentra, en parte, en el precio del agua. Aunque los precios son muy variables según las localidades continúan siendo prácticamente gratis por lo que incitan al derroche y por tanto contribuyen al incremento de la demanda. Los costes son mínimos incluso para el agua tratada y por este motivo colocamos ladrillos, regamos los jardines o limpiamos los coches con agua potable.

En un principio en muchos países cuando el agua de calidad era abundante era gratis pero conforme se ha ido despilfarrando y contaminando se ha hecho escasa y entrado en el dominio de la economía. En la Declaración de la Conferencia de Dublín se admitió que el agua tiene que tener un valor económico en todos los usos y debería ser reconocida como un bien económico. Cada día se habla y se escribe más sobre la *Economía del agua* un tema muy controvertido en el que se necesita incluir criterios ecológicos y éticos antes de aplicar de forma generalizada algunas de sus propuestas (mercados del agua, etc.). De hecho algunos autores defienden el agua como un *activo social* es decir un recurso especial que tiene un valor cultural y ecológico que significa más que el mero beneficio de un determinado uso con precio en el mercado.

De todas formas como medida eficaz para fomentar el ahorro y su uso racional es necesario hacer las *cuentas del agua* de las grandes cuencas hidrográficas y es importante que el precio del agua se aproxime a su precio de coste.

Por último no hay que olvidar que tenemos que promover programas de Educación Ambiental y Comunicación junto con programas de Participación Ciudadana con el objetivo de lograr una toma de conciencia eco-

LANZ, K. (1995): *The Greenpeace Book of Water*. Cameroun Books and Greenpeace Communications. Edición en español, 1997. *El libro del agua*. Madrid. Debate.

LLAMAS, M. R. y CUSTODIO, E. (1999): «Aguas subterráneas». En: *Agua y Desarrollo. Afers Internacionals*, 45-46.

MARGALEF, R. (1992): *Planeta azul, Planeta verde*. Biblioteca Científica Americana. Barcelona. Prensa Científica.

MARGALEF, R. y PRAT, N. (1976): «La Limnología». *Quad.Ecol.Apl.*, 4.

MERRITT, S. (1997): *Introduction to the Economics of Water Resources*. London. UCL Press.

NAIMAN, R. J., MAGNUSON, J. J., MCKNIGHT, D. M. y STANFORD, J. A. (1995): *The Freshwater Imperative. A Research Agenda*. Washington. Island Press.

PRAT, N. (1995): El agua en los ecosistemas. El Campo. Monográfico sobre el Agua.

— (1996): «Agua y Desarrollo Sostenible: la cuadratura del círculo». *Vasconia*, 24.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. (1991): *Opportunities in the Hydrologic Sciences*. Washington, D. C. National Academic Press.

ODUM, E. P. (1992): *Ecología: Bases científicas para un nuevo paradigma*. Barcelona. Veda.

POSTEL, S. (1997): *Last Oasis: Facing Water Scarcity*. New York. W. W. Norton & Co. Edición en castellano de la 1ª edición, 1993. *El Último Oasis. Como afrontar la escasez de agua*. Apóstrofe.

POSTEL, S. y CARPENTER, S. (1997): «Freshwater Ecosystem Services». In: G.C. DAILY (ed). *Nature's Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington. Island Press.

STAUFFER, J. (1999): *Water Crisis*. Consortium Book Sales & Dist.

SHKLOMANOV, I. A. (1991): A guide to the world's freshwater resources. In: P.H. GLEICK (ed). Oxford University Press. *Water in crisis*.

— (1998): *World Water Resources: A new Appraisal and Assessment for the 21st Century*. UNESCO.

SIMON, P. (1998): *Tapped Out: The Coming World Crisis in Water and We Can Do About it*. Welcome Rain.

SUMPSI, J. M., GARRIDO, A., BLACO, M., VARELA, C. y IGLESIAS, E. (1998): *Ecología y Política de Gestión del Agua en la Agricultura*. Madrid. MundoPrensa.

SZOLLOSI-NAGY, A.; NALLIS, P. y BJORKLUND, G. (1998): «Evaluación de los recursos mundiales de agua dulce». *Naturaliza y Recursos*, 34(1).

lógica en la gestión de los recursos hídricos basada en el conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos en el marco del ciclo del agua y las cuencas hidrográficas.

Hemos asumido rápidamente la necesidad de crear y cumplir una legislación sobre el uso del agua pero asumimos muy lentamente la obligación de conservarla, que no es más que la responsabilidad de preservar la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos. Necesitamos una ética del agua cuya esencia sea la protección de los ecosistemas acuáticos del planeta. Casi todas las religiones nos recuerdan que el agua es la fuente de la vida, es significativa la sentencia «algo tiene el agua cuando se la bendice». Los errores que hemos cometido en el pasado reciente tratando de controlar y manipular irracionalmente los ecosistemas acuáticos nos ha enseñado que lo inverso también es cierto. Por tanto podemos decir que la gestión del agua, tanto a nivel global como local, hoy día más que nunca es un asunto de vida o muerte.

5. Bibliografía

CLARK, R. (1991): *Water. The international crisis*. London. Earthscan Publication Ltd.

CUSTODIO, E. (1997): «La explotación de aguas subterráneas y su problemática asociada». *Hidrogeología*, 13.

CUSTODIO, E. y LLAMAS, M. R. (1997): «Consideraciones sobre la génesis y evolución de ciertos hidromitos en España». En: *Defensa de la Libertad. Homaje a Victor Mendoza*. Madrid. Instituto de Estudio Económicos.

DIAZ-PINEDA, F., MONTES, C. y COSTA, F. (1995): «Usos del agua y necesidades hídricas de la naturaleza». *El Campo*. Monográfico sobre el Agua.

GLEICK, P. H. (ed) (1993): *Water in crisis*. New York. Oxford University Press.

— (1998): *The World's Water 1998-1999. The Biennial Report on Freshwater Resources*. Washington. Island Press.

GONZALEZ BERNALDEZ, F. (1992): *Los paisajes del agua: Terminología popular de los humedales*. Madrid. J. M. Reyero Edit.

GORE, A. (1992): *Earth in the Balance. Ecology and the Human Spirit*. Houghton Mifflin Co. Boston. Edición en castellano, 1993. *La Tierra en Juego. Ecología y Conciencia Humana*. Barcelona. EMECE.

HEATHCOTE, I. W. (1998): *Integrated Watershed Management: Principles and Practice*. New York. John Wiley & Sons.

- VALLENTYNE, J.R. (1974): *The algal bowl. Lakes and man*. Dept. Environment Fisheries and Marine Service. Canada. Edición en español. 1978. *Introducción a la Limnología. Los lagos y el hombre*. Barcelona. Omega.
- WARD, C. (1997): *Reflected in Water: A Crisis of Social Responsibility. Global Issues*. Cassell Academic.

En la red

- www.pangea.org/org/foroagua
Foro sobre el agua en español
- www.oieau.fr/espagnol/index.htm
Asociación francesa no lucrativa que reúne numerosas entidades internaciones relacionadas con la gestión del agua
- www.hydroweb.com
Asociación internacional de profesionales de Hidrología Ambiental
- www.iwra.siu.edu
Asociación internacional de profesional dedicados a la gestión de recursos hídricos
- www.pangea.org/org/unesco
Hoja web del Programa Hidrológico Internacional de UNESCO
- www.worldwater.org
Posibilidad de acceder a datos actualizados continuamente relacionados con el estado de los recursos hídricos mundiales y que forman parte de la publicación bianual *The World's Water*.

Desde cada una estas direcciones puede accederse a otras muchas hojas web de instituciones, asociaciones y programas nacionales e internacionales relacionados con el estudio y gestión del agua.