



Sería más optimista respecto al futuro que espera al ser humano si éste no perdiese el tiempo queriendo demostrar que es más sabio que la naturaleza y dedicase más tiempo a deleitarse con su dulzura y a respetar su veteranía.

E. B. White

1ª Parte. Hidrología global y recursos hídricos121

- 1a. Las fuerzas motrices y las presiones sobre nuestros recursos hídricos121
 - Fig. 4.1: Distribución global del agua del mundo
- 1b. Presencia y distribución global del agua122
 - Fig. 4.2: Esquema de los componentes del ciclo hidrológico en la actualidad

2ª Parte. Naturaleza, variabilidad y disponibilidad123

- 2a. Precipitación123
 - Tabla 4.1: Distribución de las precipitaciones entre aguas superficiales y subterráneas (por regiones climáticas)
 - Fig. 4.3: Contenido de Oxígeno-18 en cursos principales de grandes ríos
- 2b. Evapotranspiración y humedad del suelo124
- 2c. Nieve y hielo125
- 2d. Aguas superficiales125
 - Lagos125
 - Ríos y arroyos126
 - Fig. 4.4: Variación de la escorrentía en los ríos continentales a lo largo de la mayor parte del siglo XX
 - Fig. 4.5: Hidrogramas típicos según las características climáticas
 - Mapa 4.1: Distribución de las estaciones de medición de agua del CMDE (Centro Mundial de Datos sobre Escorrentía), marzo de 2005
- 2e. Humedales127
- 2f. Aguas subterráneas128
 - Presencia y renovabilidad128
 - Mapa 4.2: Regiones de aguas subterráneas del mundo: modo predominante de presencia de agua subterránea y tasa media de renovación
 - Aguas subterráneas transfronterizas129
 - Tabla 4.2: Selección de grandes sistemas acuíferos con recursos hídricos subterráneos no renovables
 - Calidad natural de las aguas subterráneas130
 - Redes de seguimiento de las aguas subterráneas130
- 2g. Disponibilidad de agua130
 - Recuadro 4.1: Índice de disponibilidad de recursos hídricos: Total Actual de Recursos Hídricos Renovables
 - Tabla 4.3: Información sobre la disponibilidad de agua por país

3ª Parte. El impacto del ser humano136

- 3a. Sedimentación136
 - Tabla 4.4: Principales causas y consecuencias de la sedimentación
- 3b. Contaminación137
 - Tabla 4.5: Fuentes de contaminación del agua dulce, efectos y principales constituyentes
 - Tabla 4.6: Patrones espaciales y temporales de aparición y mitigación de la contaminación
 - Recuadro 4.2: Influencia de la lluvia ácida sobre recursos hídricos

Fig. 4.6: La lluvia ácida y sus procesos de deposición

Fig. 4.7: Nivel medio del pH del agua de lluvia a lo largo de cinco años en las regiones orientales de Canadá y Estados Unidos

Recuadro 4.3: Influencia de la actividad del ser humano sobre la calidad de las aguas superficiales

Recuadro 4.4: Influencia de la actividad humana en la calidad de las aguas subterráneas

Fig. 4.8: Principales fuentes de contaminación de las aguas subterráneas

Información global sobre calidad del agua y contaminación139

3c. Sobreextracción143

Mapa 4.3: Tasa de extracción de aguas subterráneas como porcentaje medio de recarga

3d. Calentamiento global y cambio climático144

Recuadro 4.5: Aceleración del retroceso de los glaciares

Mapa 4.4: Principales regiones de glaciares continentales y de montaña

4ª Parte. Adaptar las demandas al suministro146

- 4a. Caudales ecológicos para preservar los ecosistemas y aumentar los recursos hídricos146
- 4b. Combatir la variabilidad natural147
 - Recogida del agua de lluvia147
 - Desviación del agua147
 - Recuadro 4.6: Gestión de la recarga de acuíferos (MAR) - Un ejemplo en Vietnam
 - Almacenar agua en reservorios148
 - Trasvases de agua entre cuencas148
- 4c. Reutilización del agua148
 - Tabla 4.7: Potenciales aplicaciones del agua recuperada
- 4d. Gestión de la demanda149
- 4e. Desalinización150
- 4f. Evaluación de los recursos hídricos151

5ª Parte. El reto del desarrollo sostenible151

- 5a. Fuerzas motrices y Presiones151
- 5b. Estado de nuestros recursos hídricos naturales152
- 5c. Consecuencias152
- 5d. Respuestas152
- 5e. Beneficios153

Bibliografía y sitios web154

CAPÍTULO 4

El estado del recurso

Por

UNESCO

(Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)

OMM

(Organización Meteorológica Mundial)

OIEA

(Organismo Internacional de Energía Atómica)



De arriba a abajo:
Glaciar Perito Moreno,
Argentina

Hombre recogiendo agua
estancada para beber,
Uganda

Autobús recorriendo una
zona inundada en los
Andes, Bolivia



Mensajes clave:

Nuestros recursos hídricos, distribuidos de forma irregular en el espacio y el tiempo, están sometidos a presión debido a un importante aumento de la población y al incremento de la demanda. El acceso a unos datos fiables sobre la disponibilidad, calidad, cantidad y variabilidad del agua, constituyen la base necesaria para una gestión adecuada de los recursos hídricos. Las diversas opciones de refuerzo amplían los límites del recurso hídrico en un sentido convencional, ayudando así a hacer corresponder demanda y suministro. Debemos ser capaces de comprender y cuantificar las consecuencias de la acción del ser humano sobre los componentes del ciclo hidrológico, con el fin de desarrollar y proteger nuestros recursos hídricos de manera eficiente y sostenible.

- El cambio climático está teniendo un impacto significativo sobre los patrones meteorológicos, las precipitaciones y el ciclo hidrológico, lo cual influye en la disponibilidad de las aguas superficiales, así como en la humedad del suelo y en la recarga de las aguas subterráneas.
- La creciente incertidumbre acerca de la disponibilidad de las aguas superficiales, los altos niveles de contaminación del agua y las desviaciones de los cauces del agua, amenazan con perturbar el desarrollo social y económico en muchas zonas y también la salud de los ecosistemas.
- Las aguas subterráneas pueden, en muchos casos, complementar las aguas superficiales, especialmente como fuente de agua potable. Sin embargo, a menudo estos acuíferos se explotan a un ritmo insostenible o se ven afectados por la contaminación. Debe prestarse más atención a la gestión sostenible de los recursos hídricos subterráneos no renovables.
- En la actualidad, se están perfeccionando muchas prácticas tradicionales (por ejemplo, la recogida del agua de lluvia) y desarrollando aún más los avances más recientes (por ejemplo, la recarga artificial, la desalinización y la reutilización del agua). Es preciso prestar un mayor apoyo a las opciones políticas, tales como la gestión de la demanda, que inciden en un uso más eficiente de los recursos hídricos, así como a las soluciones técnicas en lo que respecta al abastecimiento.
- El aumento de la variabilidad en cuanto a la disponibilidad y a la distribución de los recursos hídricos requiere un compromiso político de respaldo y desarrollo de una tecnología que facilite la recopilación y el análisis de datos hidrológicos. Una información más actualizada permitirá a los responsables políticos tomar unas decisiones mejor informadas de gestión de los recursos hídricos.



1ª Parte. Hidrología global y recursos hídricos



Actualmente, las mejores prácticas y el conocimiento científico disponibles raramente se aplican a la toma de decisiones

Durante la pasada década, aumentaron notablemente la sensibilización y la preocupación pública por la necesidad de desarrollar métodos más sostenibles para la gestión y el uso eficiente de los recursos hídricos, y también la necesidad de proteger los ecosistemas donde se encuentran dichos recursos. Sin embargo, a pesar de la sensibilización acerca de las cuestiones en juego, lo cierto es que la mayoría de las decisiones sobre el desarrollo de los recursos hídricos se siguen adoptando a nivel local, regional, nacional o internacional siguiendo principalmente intereses económicos y razonamientos fundamentalmente políticos. A pesar de que durante la pasada década en varios congresos mundiales sobre el agua se enumeraron los beneficios a largo plazo derivados de la aplicación de un enfoque integrado para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos, aún habrá que esperar mucho tiempo y que se produzcan muchos cambios en la política para implementar dicho criterio. Actualmente, las mejores prácticas y el conocimiento científico disponibles raramente se aplican a la toma de decisiones de manera adecuada o se reflejan correctamente al establecer las políticas sobre recursos hídricos o implementar las prácticas de gestión. Mientras tanto, siguen aumentando las presiones sobre nuestros recursos hídricos.

1a. Las fuerzas motrices y las presiones sobre nuestros recursos hídricos

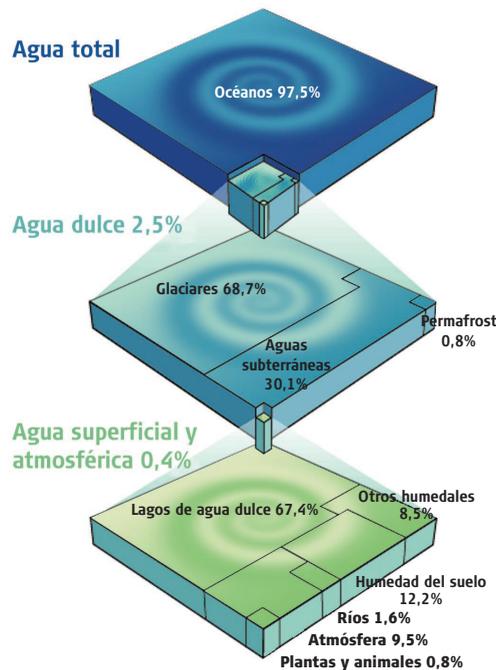
La combinación de factores naturales y la acción del ser humano origina presiones sobre nuestros recursos hídricos. El cambio climático y la variabilidad natural en la distribución y la presencia del agua son las fuerzas motrices naturales que complican el desarrollo sostenible de nuestros recursos hídricos. Algunas de las principales fuerzas motrices que afectan a los recursos hídricos son:

- el crecimiento de la población, en especial en regiones con escasez de agua
- grandes cambios demográficos a medida que la población se desplaza de entornos rurales a urbanos
- mayores demandas de seguridad alimentaria y de bienestar socioeconómico
- mayor competencia entre usuarios y usos
- contaminación de origen industrial, municipal y agrícola.

Aunque aún quedan muchas interrogantes acerca de cómo abordar y aliviar las presiones sobre nuestros recursos hídricos, merece la pena señalar el progreso que se está realizando en muchos sectores. Las unidades naturales, como las cuencas fluviales y los sistemas de acuíferos, empiezan a reconocerse institucionalmente; ejemplo de ello es la Directiva Marco del Agua de la UE. La evaluación de los recursos hídricos basada en las cuencas hidrográficas está siendo cada vez más considerada por los programas nacionales y regionales, a la vez que se otorga importancia a la necesidad de identificar el volumen y la calidad de agua idóneos para mantener la capacidad de recuperación del ecosistema (caudales ecológicos; véase el **Capítulo 5**).

También estamos asistiendo al surgimiento de análisis pormenorizados de los procesos implicados, así como de diagnósticos basados en resultados realizados por los organismos, comisiones y autoridades responsables de la gestión de cuencas hidrográficas y acuíferos. Estas actividades se están llevando a cabo a nivel global en multitud de entornos económicos y culturales y a diferentes

Figura 4.1: Distribución global del agua del mundo



Fuente: Datos de Shiklomanov y Rodda (2003). Volumen total de agua: 35,2 millones de kilómetros cúbicos (km³).

La ecohidrología hace hincapié en las relaciones y las etapas más importantes compartidas por los sistemas hidrológicos y ecológicos

escalas y tallas. La mayoría de estas organizaciones se crearon hace relativamente poco para jurisdicciones que corresponden a límites hidrológicos físicos más que a fronteras administrativas históricas (Blomquist et al., 2005; WWF, 2003). Concebir una gestión de los recursos hídricos basada en los límites físico-hidrológicos y no sobre las fronteras histórico-administrativas es la mejor respuesta ante la variabilidad de la naturaleza.

Con el fin de combatir mejor las inundaciones, tanto el Programa Asociado para la Gestión de Crecidas (APFM) - una iniciativa conjunta de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Asociación Mundial para el Agua (GWPA) -, como la Iniciativa Internacional sobre Inundaciones (IFI) de la UNESCO, definen los nuevos enfoques que se están empleando para comprender mejor los vínculos existentes entre las características naturales y las condiciones legales, medioambientales y sociales inherentes a las inundaciones y la mitigación de sus consecuencias. En este sentido, las comunidades que sufren habitualmente inundaciones pueden ahora desarrollar métodos más sostenibles con el fin de reducir los efectos socioeconómicos de acontecimientos de tal magnitud (véase el **Capítulo 10**).

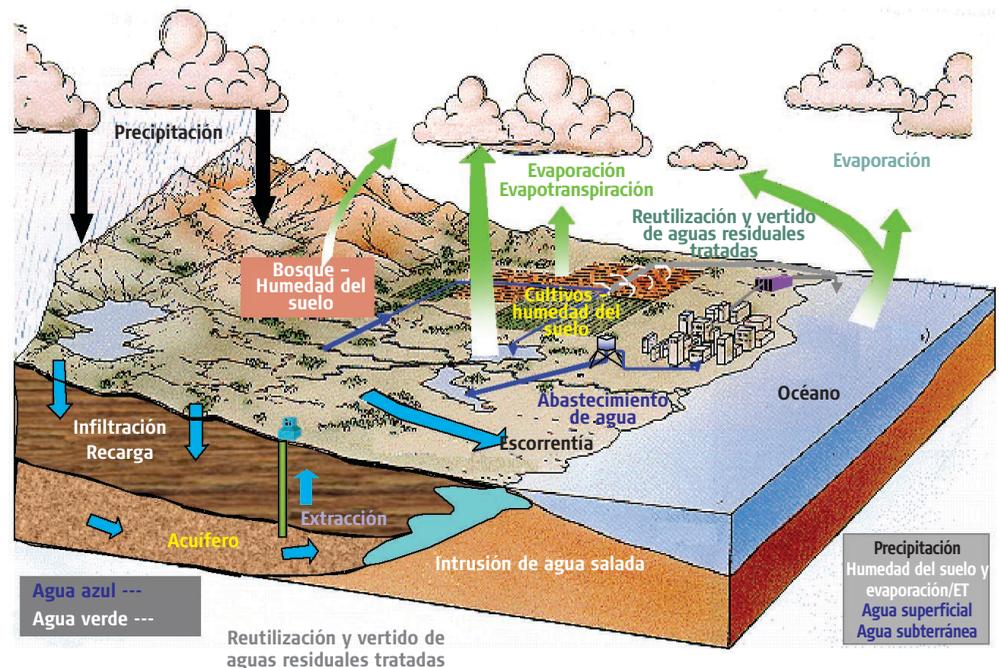
Más información acerca de los progresos realizados para contrarrestar las presiones sobre los recursos hídricos está disponible en los **Capítulos 6 a 13** y en algunos de los estudios de casos presentados en el **Capítulo 14**.

1b. Presencia y distribución global del agua

El agua del mundo existe de manera natural bajo distintas formas y en distintos lugares: en el aire, en la superficie, bajo el suelo y en los océanos (**Figura 4.1**).

Aunque una buena parte del agua dulce está “almacenada”, es más importante evaluar los flujos renovables anuales de agua teniendo en cuenta dónde y cómo se desplazan a lo largo del ciclo hidrológico (**Figura 4.2**). Este esquema del ciclo hidrológico es un ejemplo de la agrupación de elementos como parte de un modelo conceptual que ha nacido de la ecohidrología, una nueva disciplina que hace hincapié en las relaciones y etapas más importantes que comparten los sistemas hidrológicos y ecológicos (Zalewski et al., 1997). Este modelo conceptual tiene en cuenta los flujos de todas las aguas y los trayectos que éstas siguen, a la vez que distingue entre dos componentes: “agua azul” y “agua verde”. Las aguas azules están directamente relacionadas con los ecosistemas acuáticos y fluyen en masas de agua superficial y en acuíferos. El agua verde abastece los ecosistemas terrestres y la agricultura de secano a través de la humedad del suelo y también es agua verde la que se evapora de las plantas y las superficies acuáticas a la atmósfera en forma de vapor de agua. Este concepto ha sido desarrollado por Falkenmark y Rockström (2004), quienes defienden que la introducción de los conceptos de “agua verde” y “agua azul”, pensados para

Figura 4.2: Esquema de los componentes del ciclo hidrológico en la actualidad



simplificar el debate entre administradores responsables de la toma de decisiones sin conocimientos técnicos y responsables de la planificación, ayudan a dirigir la atención y los recursos necesarios hacia áreas

habitualmente desatendidas tales como la agricultura de secano, el pastoreo, las praderas, los bosques y los humedales de los ecosistemas terrestres y la gestión del paisaje

2ª Parte. Naturaleza, variabilidad y disponibilidad

El ciclo hidrológico de la Tierra es el mecanismo global que transfiere el agua desde los océanos a la superficie y desde la superficie, o subsuperficie, y las plantas a la atmósfera que envuelve nuestro planeta. Los principales procesos que componen el ciclo hidrológico natural son: precipitación, infiltración, escorrentía, evaporación y transpiración. La actividad del ser humano (asentamientos, industria y desarrollos agrícolas) puede alterar los componentes del ciclo natural a través de desviaciones del uso de la tierra así como del uso, la reutilización y el vertido de residuos a las vías naturales de las aguas superficiales y subterráneas.

2a. Precipitación

La atmósfera terrestre contiene aproximadamente 13.000 km³ de agua. Esto representa el 10% de los recursos de agua dulce del mundo que no se encuentran en las aguas subterráneas, en los casquetes polares ni en el permafrost (**Figura 4.1**). Esta cifra es similar a las cantidades que encontramos en la humedad del suelo y en los humedales. Sin embargo, tiene más importancia el hecho de que este vapor circula en la atmósfera en una "envoltura dinámica global" con un volumen sustancial anual recurrente estimado entre 113.500 km³ y 120.000 km³ (Shiklomanov y Rodda, 2003; FAO-AQUASTAT, 2003). Las precipitaciones se presentan en forma de lluvia, nieve, aguanieve, granizo, escarcha o rocío. Estos grandes volúmenes ilustran el papel clave de las precipitaciones en la renovación de nuestros recursos hídricos naturales, en especial de aquéllos de los que se alimentan los ecosistemas naturales y los cultivos de secano. Alrededor del 40% del agua que cae en forma de precipitación sobre el suelo procede del vapor que procede de los océanos. El 60% restante se evapora directamente desde el suelo. Resulta pertinente apuntar que la nieve representa un gran porcentaje de las precipitaciones totales de las regiones de clima templado o frío. Por ejemplo, en el oeste de los EE. UU., en Canadá y en Europa, entre el 40% y el 75% de las precipitaciones regionales puede producirse en forma de nieve.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha publicado una media anual de precipitaciones por país que se usa como referencia internacional y se basa en datos recogidos entre 1961 y 1990 (New et al., 1999; Mitchell et al., 2002). Las precipitaciones de los países van desde los 100 mm/año de los climas áridos y desérticos hasta los 3.400 mm/año de las zonas tropicales y muy montañosas. Las precipitaciones, junto con la temperatura, definen las variables fundamentales de las características de la biodiversidad climática y del ecosistema.

Este registro de larga duración ha permitido establecer cifras medias y define una variabilidad predecible tanto en un periodo de tiempo determinado (meses, años, estaciones) como en un lugar concreto (países, puntos de seguimiento). Este registro es muy importante pues los datos obtenidos a lo largo de 30 años se comparan con las cantidades anuales efectivas con el fin de definir la variabilidad actual relativa, con frecuencia ligada a evaluaciones regionales y mundiales de la sequía y al cambio climático.

Conocer las etapas que atraviesa el agua desde que ésta llega en forma de precipitación hasta que migra a través de los componentes de su ciclo es esencial para el desarrollo de los recursos hídricos. La **Tabla 4.1** ilustra la forma cómo las precipitaciones regresan a la atmósfera en tres zonas climáticas relativamente diferentes, generalmente en forma de evaporación o evapotranspiración, cómo agua superficial gracias a las escorrentías, o bien cómo recarga de las aguas subterráneas

El estudio de la composición isotópica de las precipitaciones (³H, ¹⁸O y ²H) puede resultar útil a la hora de rastrear el desplazamiento del agua a través de los componentes del ciclo hídrico. Esto es parte del trabajo habitual de la Red Mundial de Isótopos en las Precipitaciones (GNIP)¹, una iniciativa conjunta del OIEA y la OMM con 153 estaciones de observación repartidas en 53 países. El OIEA ha promovido diversos proyectos para estudiar y distinguir las distintas fuentes de humedad y conocer en profundidad los patrones de desplazamiento del ciclo empleando técnicas aplicadas de análisis de isótopos. Se han llevado a cabo estudios de casos puntuales en India (Bhattacharya et al., 2003), el Sudeste de Asia (Aggarwal et al., 2004) y con la participación a nivel mundial de veintinueve grupos de investigación encargados de la observación de muchos otros grandes ríos (**Figura 4.3**). Este enfoque resulta de gran ayuda a la hora de evaluar la



Un niño juega bajo la lluvia del monzón en Tailandia

Conocer las etapas que atraviesa el agua, desde que llega en forma de precipitación hasta que migra a través de los componentes de su ciclo, resulta esencial para el desarrollo de los recursos hídricos

1. Visite la página web isohis.iaea.org para más información.

Tabla 4.1: Distribución de las precipitaciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas (por regiones climáticas)

	Clima templado		Clima semiárido		Clima árido	
	%	mm	%	mm	%	mm
Precipitación total	100	500-1.500	100	200-500	100	0-200
Evaporación/ Evapotranspiración	~ 33	160-500	~ 50	100-250	~ 70	0-140
Recarga de aguas subterráneas	~ 33	160-500	~ 20	40-100	~ 1	0-2
Escorrentía superficial	~ 33	160-500	~ 30	60-150	~ 29	0-60

Fuente: Centro de Hidrogeología (Universidad de Neuchâtel, 2003).

respuesta del ciclo hidrológico ante las fluctuaciones climáticas y puede utilizarse para calibrar y validar los modelos de circulación atmosférica empleados en los estudios del cambio climático.

2b. Evapotranspiración y humedad del suelo

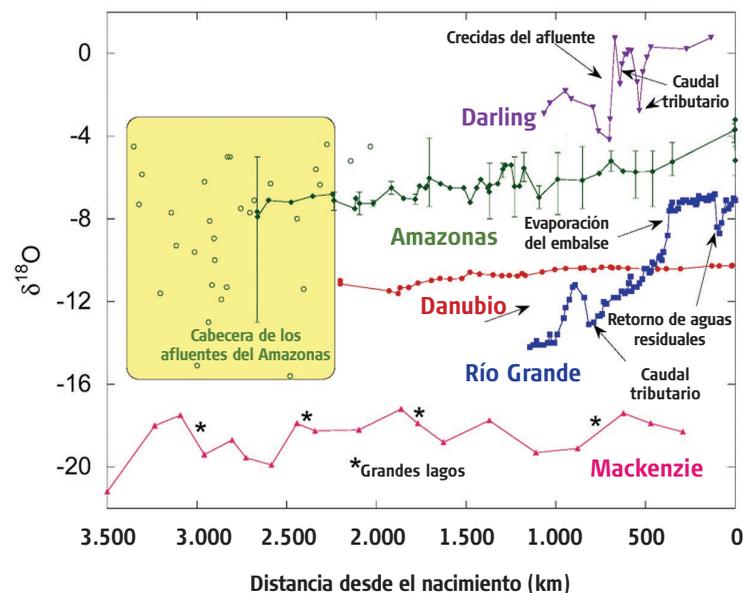
Los procesos de evaporación y transpiración (evapotranspiración) están estrechamente relacionados con el agua presente en la humedad del suelo; estos procesos actúan como fuerza impulsora sobre el agua transferida al ciclo hidrológico. El recorrido a través del suelo y la vegetación es largo y representa el 62% del agua dulce que se renueva

anualmente a nivel mundial. Las tasas de evapotranspiración dependen de variables locales y de muchos parámetros específicos difíciles de cuantificar que deben ir acompañados de análisis exigentes con el fin de alcanzar un nivel aceptable de exactitud. Para la estimación de estas tasas, también se tienen en cuenta otros datos hidrológicos y meteorológicos, además de los relacionados con el ciclo. Sin embargo, en la actualidad, la gestión local de cuencas y subcuencas permite un mejor cálculo de las tasas de transpiración.

La evaporación de las masas de agua superficial, como los lagos, ríos, humedales y reservorios de agua, es también un componente importante del ciclo hidrológico y esencial al desarrollo de la cuenca y a la gestión regional del agua. En el caso de los embalses artificiales, Rekacewicz (2002) estima que el volumen global de agua evaporada desde finales de los años 60 es superior a la consumida con fines domésticos e industriales.

En lo que respecta a la producción de alimentos y al mantenimiento del ecosistema, la humedad del suelo es el parámetro más importante de la Productividad Primaria Neta (PPN) y de la estructura, composición y densidad de los patrones de la vegetación (OMM, 2004). El contenido de la humedad del suelo próxima a la superficie determina en gran medida que el agua procedente de las precipitaciones y la irrigación se incorpore a las masas de agua superficial o se filtre en la columna de suelo. En ámbitos regionales, el estudio del déficit de humedad del suelo es una técnica que se está utilizando en gran medida para vincular la información climatológica e hidrológica a la agricultura, por ejemplo en Illinois, EE. UU., y para reflejar las condiciones de sequía (Centro de Mitigación de la Sequía de EE. UU., 2004). La distribución de la humedad del suelo constituye un requisito previo para la predicción del nivel del caudal de los ríos, el mantenimiento de los sistemas de irrigación y la conservación del suelo (Haider et al., 2004). Se considera esencial su distribución en el tiempo y el espacio para los modelos hidrológicos, ecológicos y climáticos, en ámbitos regionales y globales (NRC, 2000).

Los archivos del Banco Mundial de Datos sobre la Humedad del Suelo (Robock y Vinnikov, 2005; Robock et al, 2000) contienen datos sobre la humedad del suelo de varios países, si bien están incompletos al no ofrecer una cobertura mundial.

Figura 4.3: Contenido de Oxígeno-18 en cursos principales de grandes ríos

Nota: Los estudios del contenido de Oxígeno-18 en el curso principal de grandes ríos como el Darling, el Amazonas, el Danubio, el Río Grande y el Mackenzie muestran la aportación y la mezcla de las fuentes de escorrentía en los ríos, como es el caso de los afluentes, las aguas de irrigación y las aguas residuales. Los isótopos también reflejan los efectos del clima y los cambios en los patrones de uso de la tierra sobre el equilibrio del agua, como el enriquecimiento por evaporación del agua de los ríos en regiones áridas.

Fuente: OIEA, 2002.

Los datos obtenidos mediante satélite proporcionan una cobertura más amplia, con resultados actualizados que pueden llegar a alcanzar un alto nivel de representatividad si van acompañados de una validación sobre el terreno. Desde 2002, el satélite Aqua de la NASA, dedicado a la observación del clima, recopila datos diarios de entre 50 y 60 km de resolución, disponibles a través del NOAA (Organismo Nacional Norteamericano del Océano y la Atmósfera) (Njoku, 2004; Njoku et al., 2004). A partir de 2010, el satélite Hydros se dedicará exclusivamente a la observación de los cambios diarios en la humedad del suelo a lo largo de todo el Planeta con una resolución espacial mejorada de entre 3 y 10 km (Entekhabi et al., 2004; Jackson, 2004). Esto supondrá un gran paso adelante en la obtención de datos sobre la humedad del suelo mediante la teledetección, información en la que cada vez confían más sectores como el de la comercialización de productos agrícolas, comités administrativos, intermediarios de productos básicos, granjas de gran tamaño, organismos de observación y predicción de inundaciones y sequías, responsables del planeamiento de recursos hídricos y de la conservación del suelo, o las compañías hidroeléctricas.

2c. Nieve y hielo

Casi tres cuartas partes del agua dulce existente en el mundo están contenidas en glaciares y mantos de hielo. Sin embargo, la mayor parte (el 97%) no se consideran recursos hídricos al ser inaccesible, ya que se encuentra en los mantos de hielo de la Antártida, el Ártico y Groenlandia. Por otro lado, los glaciares continentales y el hielo y la nieve perpetuos, presentes en todos los continentes excepto en Australia, ocupan aproximadamente 680.000 km² y son esenciales para los recursos hídricos de muchos países. Los glaciares pueden aportar recursos hídricos a las tierras bajas situadas a gran distancia, aun cuando el hielo cubra solamente una pequeña parte de las cuencas de terrenos montañosos (por ejemplo, el Himalaya, las Montañas Rocosas, los Urales, los Alpes, los Andes). Por lo tanto, el hielo glacial y la nieve representan una reserva natural de agua de gran valor. Generalmente, esto afecta a la cantidad del caudal en términos de tiempo y volumen ya que los glaciares almacenan agua en forma de hielo y nieve de forma temporal y liberan escorrentías en diversas escalas temporales (Jansson et al., 2003; Hock et al., 2005). La escorrentía glacial suele variar a diario sus ciclos de flujo en función del deshielo y de la estación, pues la escorrentía anual se concentra mayormente en el verano, cuando el agua almacenada en forma de nieve en invierno se libera en forma de corriente de agua. La escorrentía estacional beneficia principalmente a aquellos países situados en latitudes medias y altas, donde el caudal suele ser bajo, y también a muchas regiones semiáridas. Los glaciares también influyen sobre la disponibilidad anual de agua a largo plazo, ya que la escorrentía puede tanto aumentar como disminuir según disminuya o crezca su balance de masa respectivamente. Por último, los glaciares suelen actuar como reguladores del caudal, pudiendo minimizar la variabilidad

cada año cuando el agua de las cuencas fluviales está ligeramente congelada (entre un 10% y un 40%). La variabilidad de la escorrentía cambia en función del aumento o la disminución de la masa del glaciar. En la actualidad, se está haciendo un seguimiento mundial del estado de los glaciares puesto que el cambio climático está afectando a su tamaño y balance de masa.

2d. Aguas superficiales

Las aguas superficiales incluyen a los lagos (también los estanques), embalses, ríos y arroyos, y humedales. El flujo hacia y a través de estas masas de agua superficial procede del agua de lluvia, de la escorrentía proveniente del derretimiento del hielo y la nieve y como caudal de base desde los sistemas de aguas subterráneas. Aunque las aguas superficiales retienen en términos volumétricos sólo un pequeño volumen (0,3%) del total de los recursos de agua dulce de la Tierra, éstas representan cerca del 80% de las aguas superficiales y subterráneas renovables anualmente. Los servicios que proporcionan al ecosistema las aguas superficiales son muy amplios y diversos, a la vez que poseen una importancia fundamental. Los embalses y los grandes lagos contrarrestan de forma eficaz la alta variabilidad estacional de las escorrentías, proporcionando un almacenamiento a más largo plazo. Las aguas superficiales también proporcionan servicios como la navegación y el transporte, la irrigación, el ocio, la pesca, el agua potable y la energía hidroeléctrica.

Lagos

Meybeck (1995), Shiklomanov y Rodda (2003) y más recientemente, Lehner y Döll (2004) han proporcionado numerosos datos sobre los lagos del mundo a escala global. Los lagos almacenan el mayor volumen de agua dulce superficial (90.000 km³), más de cuarenta veces el volumen presente en ríos y arroyos y aproximadamente siete veces más que el que encontramos en los humedales. Junto con los embalses, se estima que los lagos cubren un área total de casi 2,7 millones de km², lo que representa el 2% de la superficie terrestre, sin incluir las regiones polares (Lehner y Döll, 2004). La mayoría de los lagos son de pequeño tamaño. Se estima que los 145 lagos más grandes del mundo contienen cerca del 95% del agua dulce de todos los lagos. El lago Baikal (Rusia) es el lago más grande, más profundo y más antiguo del mundo, y él solo contiene el 27% del total de agua dulce contenida en los lagos del mundo. Las aguas de los lagos son de utilidad para el comercio, la pesca, el ocio y el transporte, y abastecen de agua a una gran parte de la población mundial. A pesar de ello, sólo se han llevado a cabo estudios hidrológicos detallados en el 60% de los lagos más grandes del mundo (Shiklomanov y Rodda, 2003). LakeNet² es un ejemplo de una organización que trabaja en coordinación con Gobiernos locales y regionales, ONG y organizaciones intergubernamentales en más de 100 países con el objetivo de abordar este déficit de información, erradicar las

En la actualidad, se está haciendo un seguimiento mundial del estado de los glaciares puesto que el cambio climático está afectando a su tamaño y balance de masa



Torres del Paine (Chile) El hielo de los glaciares y la nieve representan una reserva natural de agua de gran valor

2. Véase la página www.worldlakes.org para obtener más información.

... la escorrentía total del planeta se distribuye de manera desigual a lo largo del año en la mayoría de las regiones...

condiciones de degradación y desarrollar programas de gestión de cuencas lacustres que incluyan estrategias importantes de protección. Recientemente, se ha creado y validado una base de datos mundial de lagos, embalses y humedales en el Centro para la Investigación de Sistemas Ambientales de la Universidad de Kassel (CESR, Alemania) en colaboración con el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) (Lehner y Döll, 2004). La técnica de mapeo digital, complementada con datos que se pueden descargar en su totalidad, facilita la unificación de registros locales y regionales y de los datos obtenidos mediante teledetección ya existentes con este nuevo inventario. Esto representa un importante logro para los modelos globales de hidrología y climatología.

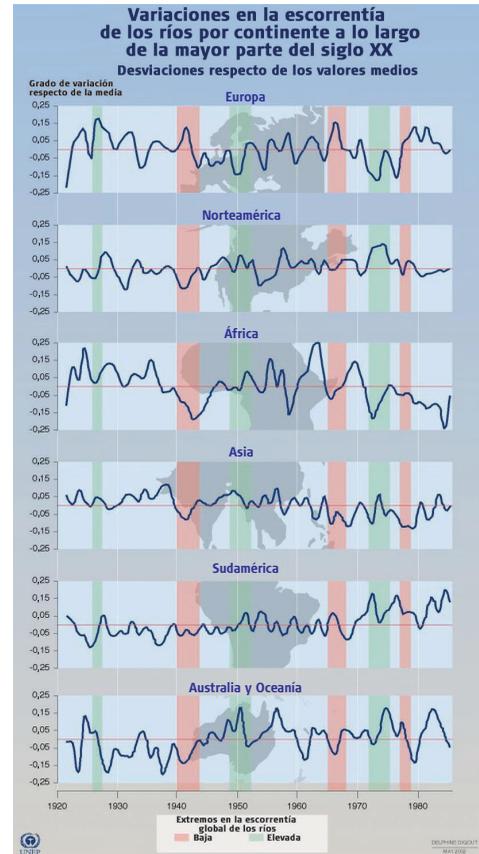
Ríos y arroyos

Una cantidad estimada de 263 cuencas fluviales internacionales tienen zonas de drenaje que cubren cerca del 45% (231 millones de km²) de la superficie terrestre, sin incluir las regiones polares (Wolf et al., 2002). Las veinte mayores cuencas fluviales del mundo, distribuidas a lo largo de todos los continentes, tienen cuencas que oscilan entre 1 y 6 millones de km². Se estima que el volumen total de agua almacenada en ríos y arroyos es de 2.120 km³ aproximadamente. El Amazonas transporta el 15% del total del agua que regresa a los océanos, mientras que la cuenca del Congo-Zaire contiene el 33% del caudal fluvial de África (Shiklomanov y Rodda, 2003)³.

La variabilidad de la escorrentía se muestra a través de flujos comparativos de ríos o arroyos en gráficos temporales (hidrogramas). En cuanto a la variabilidad, la **Figura 4.4** (Digout, 2002) ilustra los tres periodos de mayor y menor escorrentía del siglo XX, reflejando las fluctuaciones naturales de la escorrentía de los ríos en función del tiempo y del lugar. Este tipo de fluctuaciones periódicas no son fácilmente predecibles, ya que se producen con una frecuencia y duración irregular. Por otro lado, podemos predecir la variabilidad de la escorrentía con carácter anual o estacional a partir de las mediciones llevadas a cabo en distintos puntos de los ríos. En la **Figura 4.5** se pueden observar los gráficos del caudal fluvial de las principales regiones climáticas (Stahl y Hísdal, 2004). En este gráfico se muestran las precipitaciones y la evaporación mensual, que representan la variabilidad anual relativamente predecible y similar según las principales regiones climáticas del mundo. Desde el punto de vista de la zona climática, las regiones tropicales muestran normalmente un mayor volumen de escorrentía, mientras que las regiones áridas y semiáridas, que suponen alrededor del 40% de la superficie terrestre mundial, tienen sólo el 2% del volumen total de escorrentía (Gleick, 1993).

Las redes de seguimiento del caudal fluvial y del nivel del agua en ríos, embalses y lagos, unidos a las estimaciones realizadas para las regiones donde no existe un amplio seguimiento, facilitan la comprensión de la escorrentía y evalúan cómo predecir su variabilidad. Las redes de medición están relativamente extendidas en muchas zonas desarrolladas y habitadas. La mayor parte de las

Figura 4.4: Variaciones en la escorrentía de los ríos en cada continente a lo largo de la mayor parte del siglo XX (desviaciones de los valores medios)

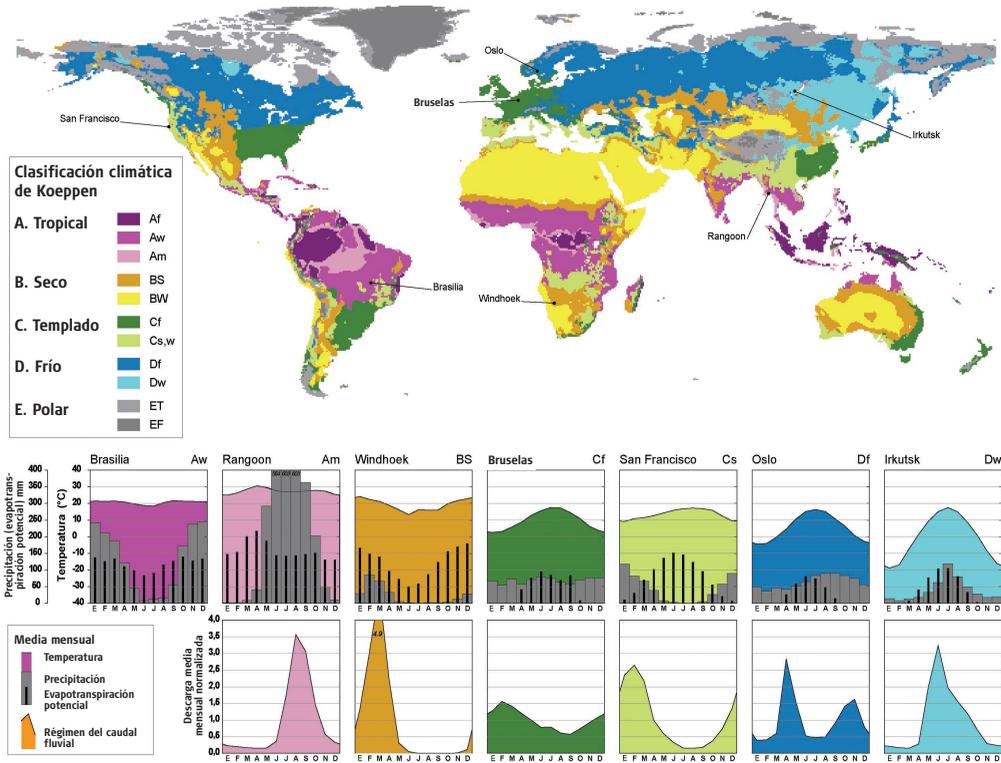


Fuente: Digout, 2002; PNUMA/GRID Arendal; Shiklomanov, 1999.

zonas de drenaje de mayor contribución a nivel mundial poseen redes de vigilancia relativamente adecuadas. Bajo los auspicios de la OMM, el Centro Mundial de Datos sobre Escoorrentía (CMDE, Coblenza, Alemania) adquiere, almacena, distribuye gratuitamente e informa regularmente sobre los datos de descarga de los ríos gracias a una red de 7.222 puntos de observación, de los cuales cerca de 4.750 ofrecen datos diarios, y 5.580 suministran datos mensuales (CMDE, 2005; **Mapa 4.1**). Otros programas internacionales, como el Archivo Europeo del Agua (Rees y Demuth, 2000) y los centros nacionales de datos complementan esta información (no se incluyen los datos de las instituciones privadas). Cuanto más largo sea el registro del flujo, mejor podremos predecir la variabilidad de la escorrentía, datos especialmente importantes en el ámbito de la predicción de inundaciones, la generación de energía hidroeléctrica y los estudios sobre el cambio climático. Los datos de escorrentía varían enormemente en cuanto a su calidad e idoneidad. Mientras que

3. Estadísticas relacionadas con los sistemas fluviales del mundo (longitud, área de la cuenca, descarga, principales afluentes y ciudades abastecidas) están disponibles en www.rev.net/~aloe/river/, como parte de un portal científico (PSIGate).

Figura 4.5: Hidrogramas típicos según las características climáticas



Nota: En los climas tropicales cercanos al ecuador (Af), fluyen ríos perennes todo el año. Hacia el norte y el sur, los climas tropicales tienen unas estaciones secas y lluviosas bien diferenciadas (Am y Aw.) En los climas secos (B) los ríos son a menudo efímeros y sólo fluyen de forma esporádica tras una tormenta. En los climas templados (Cf) no hay estaciones húmedas o secas diferenciadas, mientras que el “clima mediterráneo” (Cs) se caracteriza por un pronunciado déficit de agua estacional en verano y por un invierno lluvioso, tal y como se refleja en el hidrograma. Los climas fríos (D) presentan un pico de escorrentía debido al derretimiento de la nieve y el clima Df tiene un pico adicional en otoño a causa de las lluvias.

Fuente: Stahl y Hisdal 2004.

algunos datos tienen una antigüedad de hasta 200 años en Europa y entre 100 y 150 años en otros continentes, en muchos países en vías de desarrollo los datos son generalmente insuficientes en cuanto al tiempo y la calidad como para poder llevar a cabo una evaluación fiable de sus recursos hídricos o el diseño de un proyecto rentable. Como resultado de ello, en estas regiones rara vez se recopilan o distribuyen datos de manera efectiva a escala global (OMM, 2005).

2e. Humedales

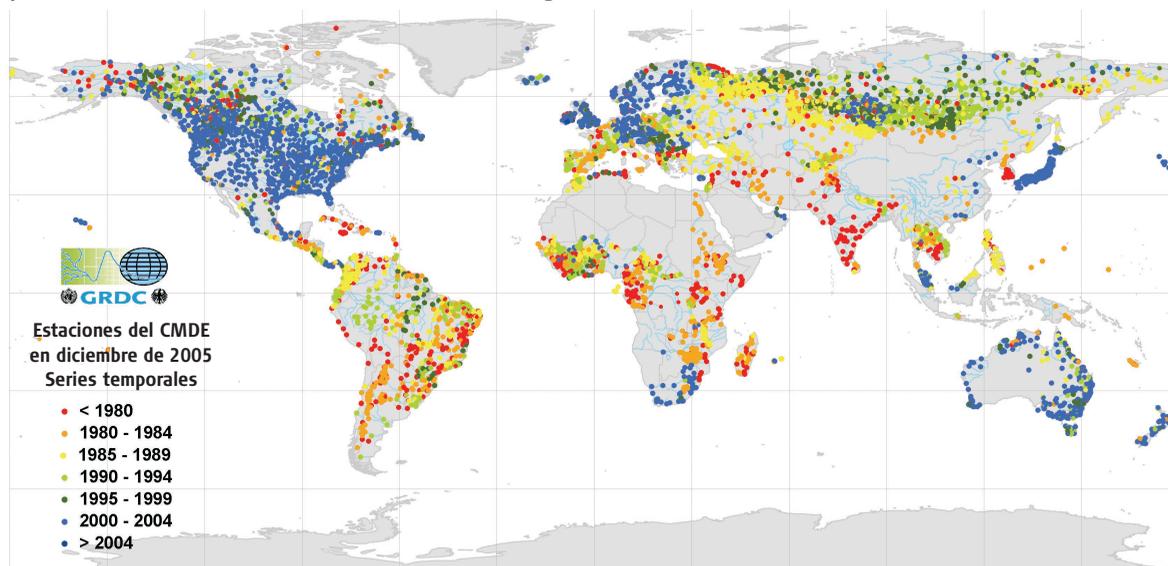
Los humedales son medios saturados de agua, normalmente en forma de pantanos, ciénagas, marismas, marjales y lagunas. Los humedales ocupan una superficie casi cuatro veces mayor que los lagos del mundo. Sin embargo, sólo representan el equivalente del 10% del agua contenida en los lagos y en otras masas de aguas superficiales. Durante el siglo pasado, se destruyó un gran número de humedales o bien éstos se transformaron para otros usos. El papel que éstos desempeñan en relación con los ecosistemas y los servicios

hídricos que prestan se detalla en el **Capítulo 5**. Por otro lado, debido a que los humedales representan cerca del 6% de la superficie total terrestre (OCDE, 1996), son zonas fundamentales que deben tenerse en cuenta y protegerse para así proteger las aguas superficiales y, en algunas regiones, también las aguas subterráneas. En la actualidad se está realizando una amplia labor a través de las campañas de “uso racional” respaldadas principalmente por Ramsar, WWF y PNUMA. El objetivo de estas campañas es mantener los servicios fundamentales del agua y los medios de vida y la producción de alimentos. Bullock y Acreman (2003), llevaron a cabo un nuevo estudio sobre la variabilidad del papel de los humedales, en el que evalúan las diferencias entre las funciones relativas a la cantidad de agua de los humedales, basándose en 169 estudios realizados entre los años 1930 y 2002 a nivel mundial. Éstos creen que esta nueva revisión ofrece el primer paso hacia un sistema de evaluación funcional de los humedales con una mayor base científica, a la vez que ofrece un elemento de referencia para la



El Parque Nacional de Everglades (Estados Unidos) es uno de los 1.558 humedales actualmente protegidos por el Convenio Ramsar

Mapa 4.1: Distribución de las estaciones de medición del agua del CMDE, marzo de 2005



información mundial acerca de la influencia de los humedales en el caudal de ríos y acuíferos.

Éstos concluyen que “sólo se presta un apoyo limitado al modelo generalizado de control de inundaciones, promoción de recarga y mantenimiento del caudal, considerado durante los años de la década de los 90 como uno de los componentes fundamentales del diseño de políticas dirigidas a los humedales”, poniendo de relieve que este apoyo se limita en gran medida a los humedales de llanuras inundables. También ponen de manifiesto que: “Apenas se tienen en cuenta los numerosos ejemplos en que los humedales propician inundaciones, son un obstáculo para la recarga o reducen los caudales pobres” y que “no se tienen en cuenta los discursos generalistas y simplificados acerca de las funciones de los humedales por carecer de valor práctico”. En general, afirman que no puede concluirse que los humedales jueguen el mismo papel en todas las situaciones hidrológicas. Recomiendan que las futuras acciones de gestión del agua, tanto para cuencas como para acuíferos, evalúen cuidadosamente las características de cada humedal, ya que éstos mostrarán un comportamiento y unas funciones distintas según su emplazamiento en la cuenca hidrográfica, su clima y el alcance de otras características de desarrollo.

2f. Aguas subterráneas

El volumen global de aguas subterráneas almacenado bajo la superficie terrestre representa el 96% del agua dulce no congelada del Planeta (Shiklomanov y Rodda, 2003). Las aguas subterráneas ofrecen funciones y servicios útiles al ser humano y al medio ambiente. Éstas abastecen a arroyos, manantiales y humedales, mantienen la estabilidad de la superficie del suelo en zonas donde el terreno es inestable y actúan como un recurso hídrico fundamental para satisfacer

nuestras demandas básicas de agua. El Centro Internacional de Evaluación de los Recursos de Aguas Subterráneas (IGRAC, con sede en Utrecht, Holanda) cuenta con el respaldo de la UNESCO y la OMM. El IGRAC calcula que cerca del 60% del agua extraída se destina a usos agrícolas en climas áridos y semiáridos. Según Morris et al. (2003) los sistemas de aguas subterráneas suponen entre un 25% y un 40% del agua potable del mundo. Hoy en día, la mitad de las megalópolis del mundo y cientos de otras ciudades de gran tamaño en todos los continentes dependen de las aguas subterráneas, o bien consumen un gran volumen de las mismas. Las pequeñas ciudades y las comunidades rurales dependen especialmente de ellas para el abastecimiento doméstico. En aquellas áreas locales en las que no se dispone de otra fuente de abastecimiento, las aguas subterráneas representan una fuente de agua de buena calidad a bajo coste, aun cuando sólo representen una pequeña parte del total del agua consumida. Por último, las aguas subterráneas pueden suplir la falta de abastecimiento durante largas temporadas sin lluvia, o durante las sequías.

Presencia y renovabilidad

Publicaciones recientes de carácter global (Zekster y Everett, Series de UNESCO sobre aguas subterráneas, 2004; PNUMA, 2003) señalan que las aguas subterráneas varían enormemente en cuanto a su distribución, su tasa de renovación y los volúmenes almacenados en distintos tipos de acuíferos. Las características geológicas también son un factor importante. A pesar de que los acuíferos poco profundos tienen una capacidad de almacenamiento limitada, las cuencas con una gruesa capa de sedimentación concentran los mayores volúmenes de aguas subterráneas. Los acuíferos de zonas montañosas suelen estar fragmentados, mientras que los medios de roca volcánica poseen unas condiciones únicas. Los sistemas acuíferos poco

profundos tienen unos niveles freáticos cercanos a la superficie fuertemente vinculados a las masas de aguas superficiales e intercambiables con éstas. El **Mapa 4.2** muestra las treinta y seis regiones del mundo con agua subterránea identificadas por el IGRAC (2004), que establece comparaciones entre los diversos entornos hidrológicos predominantes de todo el Planeta. El Programa Mundial de Evaluación y Cartografía Hidrogeológica (WHYMAP), dirigido por la UNESCO, también contribuye a cartografiar los sistemas acuíferos mediante la recopilación y la difusión de información relacionada con las aguas subterráneas a nivel mundial (véase el **Capítulo 13**).

Las aguas subterráneas son un recurso potencial caracterizado por dos variables principales: su tasa de renovabilidad y el volumen almacenado. La mayor parte de las aguas subterráneas proceden de las recargas que tuvieron lugar en condiciones climáticas pasadas y reciben el nombre de "aguas subterráneas no renovables" (OIEA). La tasa real de recarga de estos sistemas acuíferos es prácticamente inexistente. Los sistemas de aguas renovables más grandes del mundo (**Tabla 4.2**) están situados en zonas áridas del norte de África, la Península Arábiga y Australia y también bajo el permafrost de Siberia

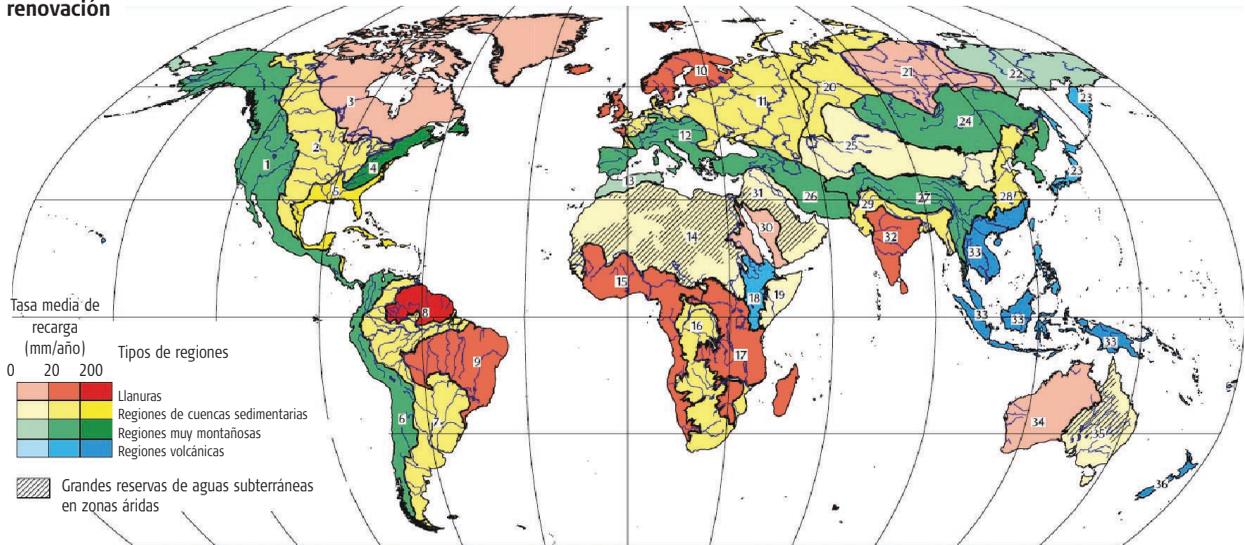
occidental. Su explotación supondría una reducción de los volúmenes almacenados. Recientemente ha surgido una polémica en cuanto a cómo y cuándo emplear los recursos hídricos subterráneos, ya que se entiende que el desarrollo sostenible de las aguas subterráneas ha de ser una "explotación en condiciones de equilibrio dinámico que no afecte al nivel de las reservas". No obstante, los países pueden llegar a la conclusión de que la explotación de tales reservas está justificada en aquellos casos en los que no se producirían efectos secundarios no deseados (Abderrahman, 2003). La UNESCO y el Banco Mundial han preparado de forma conjunta la publicación *Non-renewable groundwater resources, a guidebook on socially sustainable management for policy matters* (2006).

Aguas subterráneas transfronterizas

Por lo que se refiere a los recursos hídricos compartidos, las aguas subterráneas no respetan las fronteras administrativas. La mayor parte de las reservas no renovables más importantes mostradas en la **Tabla 4.2** son compartidas. Sin embargo, además de estos sistemas acuíferos, en todo el mundo existen otros muchos acuíferos transfronterizos de menor tamaño y

Las aguas subterráneas son un recurso potencial caracterizado por dos variables principales: su tasa de renovabilidad y el volumen almacenado

Mapa 4.2: Regiones de aguas subterráneas del mundo: modo predominante de presencia de agua subterránea y tasa media de renovación



- | | | | |
|--|--|--|---|
| 1 Cordillera occidental de Norteamérica y Centroamérica | 8 Escudo Guayanés | 18 Tierras volcánicas de África oriental | 25 Himalaya y montañas asociadas |
| 2 Llanuras centrales de Norteamérica y Centroamérica | 9 Escudo Brasileño y cuencas asociadas | 19 Cuerno de las cuencas africanas | 28 Llanuras de China oriental |
| 3 Escudo Canadiense | 10 Escudos Báltico y Céltico | 20 Plataforma de Siberia occidental | 29 Llanura Indo-Ganges-Brahmaputra |
| 4 Montañas de los Apalaches | 11 Tierras bajas de Europa | 21 Llanura de Siberia central | 30 Escudos Nubiano y Arábigo |
| 5 Islas del Caribe y llanuras costeras de Norteamérica y Centroamérica | 12 Montañas del centro y sur de Europa | 22 Tierras altas de Siberia oriental | 31 Plataforma de Levante y Arábiga |
| 6 Cordillera Andina | 13 Montañas del Atlas | 23 Margen del noroeste del Pacífico | 32 India peninsular y Sri Lanka |
| 7 Tierras bajas de Sudamérica | 14 Cuencas saharianas | 24 Cordillera montañosa de Asia central y oriental | 33 Penínsulas e islas del Sudeste de Asia |
| | 15 Llanura de África occidental | 25 Cuencas de Asia occidental y central | 34 Australia occidental |
| | 16 Cuencas subsaharianas | 26 Cordillera montañosa de Asia occidental | 35 Australia oriental |
| | 17 Llanura de África oriental y Madagascar | | 36 Islas del Pacífico |

Nota: Mapa mundial a pequeña escala de las 36 regiones de aguas subterráneas del mundo en el que se muestran las características hidrogeológicas predominantes (llanura-rojo, cuenca sedimentaria-amarillo, regiones muy montañosas-verde y volcánicas-azul). Las tasas medias más altas de renovación de las aguas subterráneas, en cada una de las regiones de aguas subterráneas del mundo, se reflejan en la figura con una mayor intensidad de color. Las zonas sombreadas muestran las zonas de renovación limitada de aguas subterráneas que contienen amplias reservas de aguas subterráneas (no renovables) que se crearon en el pasado.

Fuente: IGRAC, 2004.

La mayor parte de las aguas subterráneas renovables son de gran calidad, adecuadas para el uso doméstico, la irrigación y otros usos, y no precisan tratamiento.

Tabla 4.2: Selección de grandes sistemas acuíferos con recursos hídricos subterráneos no renovables

Países	Volumen del sistema acuífero (km ³)	Área (km ²)	Volumen total estimado (km ³)	Volumen explotado estimado (km ³)	Extracción anual estimada (km ³)	Extracción anual estimada (km ³)
Egipto, Libia, Sudán, Chad	Sistema acuífero de areniscas de Nubia	2.200.000	150.000 a 457.000	> 6.500	13	1,6
Argelia, Libia, Túnez	Sistema acuífero del noroeste del Sáhara	1.000.000	60.000	1.280	14	2,5
Argelia, Libia, Níger	Cuenca del Murzuk	450.000	> 4.800	> 60 a 80	n.d.	1,75
Malí, Níger, Nigeria	Sistema acuífero lullemeden	500.000	10.000 a 15.000	250 a 550	50 a 80	n.d.
Níger, Nigeria, Chad, Camerún	Acuífero de la cuenca del Chad	600.000	n.d.	>170 a 350	n.d.	n.d.
Arabia S., EAU, Bahrein, Qatar	Acuífero de capas múltiples de la Plataforma Arábiga	250.000	n.d.	500?	30	13,9
Australia	Gran Cuenca Artesiana	1.700.000	20.000	170	50	0,6
Rusia	Cuenca Artesiana de Siberia occidental	3.200.000	1.000.000	n.d.	55	n.d.

Fuente: Jean Margat, comunicación personal, 2004.

(Adaptado del Grupo de Trabajo de la UNESCO sobre Aguas Subterráneas No Renovables, 2004).

renovables. En la actualidad se está prestando una atención cada vez mayor a la gestión compartida de los recursos hídricos subterráneos, lo que cuenta con el firme apoyo de numerosas organizaciones internacionales que se ocupan de diseñar una estrategia de gestión sostenible que haga posible el desarrollo socioeconómico compartido de estos acuíferos. En la actualidad el Proyecto sobre la Gestión de Recursos de Acuíferos Transnacionales (ISARM) está elaborando un inventario de acuíferos transfronterizos.

Calidad natural de las aguas subterráneas

La mayor parte de las aguas subterráneas renovables son de gran calidad, adecuadas para el uso doméstico, la irrigación y otros usos, y no precisan tratamiento. No obstante, el desarrollo incontrolado de los recursos hídricos subterráneos, sin el correspondiente análisis químico y biológico, es una práctica inaceptable que puede acarrear graves consecuencias para la salud, como es el caso en el Sudeste de Asia, donde existen numerosos problemas derivados de la presencia de arsénico y flúor en el agua potable. Algunas aguas tienen efectos benéficos, debido a sus altas temperaturas naturales y a su contenido en gases y minerales. Éste es el caso de las aguas termales, cuyas propiedades son debidas a gradientes geotérmicos, características volcánicas o a la radiactividad natural. En la mayoría de los casos estas aguas subterráneas están muy desarrolladas y se emplean con fines curativos y de ocio (balnearios), o bien como fuente de energía geotérmica.

Redes de seguimiento de las aguas subterráneas

Las redes de seguimiento de las aguas subterráneas, al igual que en el caso de las redes de aguas superficiales,

funcionan de forma distinta en ámbitos nacionales, regionales y locales. Los niveles de las aguas subterráneas son el parámetro más observado, mientras que pocos países poseen sistemas de seguimiento amplios y continuados sobre la calidad del agua, la recarga natural de las aguas subterráneas o la extracción (Jousma y Roelofsen, 2003). En estos momentos se están desarrollando una serie de iniciativas a gran escala para mejorar los sistemas de seguimiento y las redes, por ejemplo en Europa (Propuesta de nueva Directiva sobre la Protección de las Aguas Subterráneas [CE, 2003] y en la India [Banco Mundial, 2005]). A pesar de ello, en muchos países en vías de desarrollo estas actividades de evaluación, seguimiento y gestión de datos sobre las aguas subterráneas son en general mínimas o ineficaces, o bien se están minimizando y reduciendo, como es el caso en numerosos países desarrollados (véase el **Capítulo 13**). La falta de datos y de capacidad institucional es endémica, lo cual dificulta el desarrollo y gestión adecuados de las aguas subterráneas. Actualmente, el programa GEMS/Agua del PNUMA está incorporando datos nacionales sobre aguas subterráneas a su base de datos internacional sobre la calidad del agua (descrito en la 3ª Parte). De esta forma se podrá complementar la información actual sobre la calidad global de las aguas subterráneas recogida y mostrada en la página web del IGRAC, con informes especiales sobre la presencia de arsénico y flúor en las aguas subterráneas (IGRAC, 2005a, 2005b).

2g. Disponibilidad de agua

Durante décadas se ha intentado determinar el volumen de agua del que dispone cada país. Estas estimaciones se realizan a partir de una base de datos, AQUASTAT,

desarrollada y actualizada por la FAO. AQUASTAT se basa en datos acerca de la cantidad de recursos hídricos y utiliza un enfoque basado en el concepto de balance hídrico para cada país (FAO, 2003a). Esta base de datos se ha convertido en una herramienta de referencia común para estimar los recursos hídricos renovables de cada país. La FAO ha elaborado el Índice Total Actual de Recursos Hídricos Renovables (TARHR). En el **Recuadro 4.1** se

detalla cómo se calcula el Índice TARHR y su Equivalente de "Disponibilidad" Per Cápita (DPC), así como algunas consideraciones que deben tenerse en cuenta al utilizar del índice de la base de datos. En la **Tabla 4.3** se muestran los resultados del TARHR y el DPC de la mayoría de los países tras la última actualización de la base de datos AQUASTAT de la FAO, llevada a cabo en 2005.

RECUADRO 4.1: ÍNDICE DE DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS: TOTAL ACTUAL DE RECURSOS HIDRICOS RENOVABLES (TARHR)

El Total Actual de Recursos Hídricos

Renovables (TARHR) refleja los recursos hídricos en teoría disponibles para el desarrollo procedentes de todas las fuentes dentro de cada país. Su volumen estimado se expresa en km³/año. Esta cifra se divide entre la población de cada país y se convierte en m³/año, expresándose así en un volumen per cápita que permite obtener una evaluación relativa de los recursos de los que disponen sus habitantes. Este índice estima los recursos hídricos totales disponibles por persona y país teniendo en cuenta una serie de indicadores individuales:

- se suma la escorrentía total anual de las aguas superficiales generada internamente y la recarga de aguas subterráneas procedente de las precipitaciones registradas dentro de las fronteras de cada país,
- se suma el aporte externo de otros países que abastece tanto a las aguas superficiales como a las subterráneas,
- se resta cualquier volumen de recursos potenciales compartidos por la misma agua que provengan de la interacción de los sistemas de aguas superficiales y de aguas subterráneas, y
- se resta, en los casos en que exista uno o más tratados, cualquier volumen de agua que deba salir del país por exigencia de alguno de dichos tratados.

El TARHR indica la cantidad teórica máxima de agua per cápita disponible para cada país. El índice

TARHR se empezó a utilizar aproximadamente en el año 1989, y desde entonces se emplea para evaluar la escasez de agua y el estrés por falta de la misma.

Algunas consideraciones en relación con la disponibilidad en el índice TARHR

Es importante señalar que los cálculos de la FAO representan los volúmenes máximos teóricos de agua que se renuevan anualmente como escorrentía de agua superficial y como recarga de agua subterránea, teniendo en cuenta los recursos hídricos superficiales y subterráneos compartidos. Sin embargo, a la hora de desarrollar estos recursos, estos volúmenes no tienen en cuenta los posibles y diversos criterios socioeconómicos que pueda aplicar cada sociedad, nación o región. Los costes varían enormemente dependiendo del recurso hídrico en cuestión. Por lo tanto, a pesar de que estas cifras intenten reflejar el volumen "total" de agua renovable, se trata de un máximo teórico que, a causa de numerosos factores económicos y técnicos, no alcanzará el nivel de desarrollo previsto. Por ejemplo, Falkenmark y Rockstrom (2004) señalan que, de forma global, cerca del 27% de las escorrentías de las aguas superficiales del mundo tienen lugar en forma de inundaciones. Éste no se considera un recurso hídrico aprovechable, aun cuando se considera un componente de la escorrentía anual renovable de aguas superficiales del TARHR. Por esta razón, los volúmenes aprovechables y disponibles como recursos para satisfacer las demandas de la sociedad son, en realidad, considerablemente menores que la cifra máxima que otorga el TARHR a cada país.

Existen además otras cuatro limitaciones inherentes a la información que proporciona el TARHR. En primer lugar, la variabilidad estacional de precipitaciones, escorrentías y recarga, un factor muy importante en la toma de decisiones relativas a las cuencas y en las previsiones de almacenamiento de agua, no se refleja adecuadamente en las cantidades anuales. Segundo, muchos países de gran tamaño poseen una gran variedad de características climáticas y su población se distribuye de forma dispersa. En el TARHR no se reflejan las variaciones que pueden tener lugar dentro de un mismo país. Recientemente se ha desarrollado a pequeña escala un Mapa Índice de Estrés Relativo (Vörösmarty), que podría ayudar a suplir esta carencia. En tercer lugar, el TARHR no proporciona datos sobre el volumen de "agua verde" que abastece a los ecosistemas, los volúmenes que proporcionan recursos hídricos a la agricultura de secano, pastizales, praderas y bosques, ni tiene en cuenta los volúmenes de agua disponibles a partir de fuentes no convencionales (reutilización, desalinización, aguas subterráneas no renovables). Por último, el método contable por país del TARHR incluye el agua procedente de otros países que se encuentran aguas arriba, mientras que la cifra del TARHR no resta el agua que abandona el país, a pesar de existir datos por país de dichos volúmenes en la base de datos.

Fuente: FAO, 2003a; FAO-AQUASTAT, 2005.

Tabla 4.3: Información sobre la disponibilidad de agua por país (AQUASTAT, FAO 2005)

País	Población (millones)	Tasa de	Volumen	TARHR	TARHR	Aguas	Aguas	Superpo-	Aguas	Aguas ³	Uso
		precipita- ción ¹ (mm/año)	TARHR 2005 (km ² /año)	per cápita 2000 (m ³ /año)	per cápita 2005 (m ³ /año)	superfi- ciales % TARHR	subterrá- neas % TARHR	sición ² % TARHR	entrantes % TARHR	salientes % TARHR	total % TARHR
1 Afganistán	24.926	300	65	2.986	2.610			15%	77%	36%	
2 Albania	3.194	1.000	42	13.306	13.060	55%	15%	6%	35%	0%	4%
3 Alemania	82.526	700	154	1.878	1.870	69%	30%	29%	31%	59%	31%
4 Argelia	32.339	100	14	478	440	12%	92%	6%	3%	3%	42%
5 Angola	14.078	1.000	148	14.009	10.510	98%	39%	21%	0%	80%	0,2%
6 Antigua y Barbuda	73	2.400	0,1	800	710				0%	0%	
7 Arabia Saudí	24.919	100	2,4	118	96	92%	92%	83%	0%	6%	722%
8 Argentina	38.871	600	814	21.981	20.940	34%	16%	16%	66%	14%	4%
9 Armenia	3.052	600	10	2.780	3.450	60%	40%	13%	14%	31%	28%
10 Aruba	101										
11 Australia	19.913	500	492	25.708	24.710	89%	15%	4%	0%	0%	5%
12 Austria	8.120	1.100	78	9.616	9.570	71%	8%	8%	29%	100%	3%
13 Azerbaiyán	8.447	400	30	3.765	3.580	20%	22%	14%	73%		57%
14 Bahamas	317	1.300	0,02	66	63	n.d.	n.d.	n.d.	0%	0%	
15 Bahrein	739	100	0,1	181	157	3%	0%	0%	97%	0%	258%
16 Bangladesh	149.664	2.700	1.211	8.809	8.090	7%	2%	0%	91%	0%	7%
17 Barbados	271	2.100	0,1	307	296	10%	92%	2%	0%	0%	105%
18 Bielorrusia	9.852	600	58	5.694	5.890	64%	31%	31%	36%	96%	5%
19 Bélgica	10.340	800	18	1.786	1.770	66%	5%	5%	34%	60%	
20 Belice	261	2.200	19	82.102	71.090				14%	0%	1%
21 Benin	6.918	1.000	26	3.954	3.820	38%	7%	6%	61%	22%	1%
22 Bermudas	82	1.500									
23 Bután	2.325	1.700	95	45.564	40.860	100%	0%	95%	0,4%		
24 Bolivia	8.973	1.100	623	74.743	69.380	45%	21%	17%	51%	93%	0,2%
25 Bosnia y Herzegovina	4.186	1.000	38	9.429	8.960					100%	
26 Botswana	1.795	400	12	9.345	6.820	7%	14%	1%	80%	5%	1%
27 Brasil	180.654	1.800	8.233	48.314	45.570	66%	23%	23%	34%	6%	1%
28 Brunei	366	2.700	9	25.915	23.220	100%	1%	1%	0%	0%	
29 Bulgaria	7.829	600	21	2.680	2.720	94%	30%	26%	1%	92%	49%
30 Burkina Faso	13.393	700	13	1.084	930	64%	76%	40%	0%	100%	6%
31 Burundi	7.068	1.200	15	566	2.190	65%	48%	48%	35%	14%	2%
32 Camboya	14.482	1.900	476	36.333	32.880	24%	4%	3%	75%	99%	1%
33 Camerún	16.296	1.600	286	19.192	17.520	94%	35%	33%	4%	14%	0,3%
34 Canadá	31.744	500	2.902	94.353	91.420	98%	13%	12%	2%	5%	2%
35 Cabo Verde	473	400	0,3	703	630	60%	40%	0%	0%	0%	9%
36 Chad	8.854	300	43	5.453	4.860	31%	27%	23%	65%	9%	0,5%
37 Chile	15.996	700	922	60.614	57.640	96%	15%	15%	4%	0%	1,4%
38 China	1.320.892	600	2.830	2.259	2.140	96%	29%	26%	1%	25%	
39 China Prov. Taiwan	22.894	2.400	67		2.930	94%	6%	0%	0%		
40 Chipre	808	500	0,8	995	970	72%	53%	24%	0%	0%	31%
41 Colombia	44.914	2.600	2.132	50.635	47.470	99%	24%	24%	1%	50%	1%
42 Comoras	790	1.800	1,2	1.700	1.520	17%	83%	0%	0%	0%	
43 Congo, Rep. Dem.	54.417	1.500	1.283	25.183	23.580	70%	33%	33%	30%	0%	0,03%
44 Congo	3.818	1.600	832	275.679	217.920	27%	24%	24%	73%	23%	0,005%
45 Corea, Rep.	47.951	1.100	70	1.491	1.450	89%	19%	15%	7%		27%
46 Corea, Rep. Pop. Dem.	22.776	1.400	77	3.464	3.390	86%	17%	16%	13%	6%	12%
47 Costa Rica	4.250	2.900	112	27.932	26.450	67%	33%	0%	0%	7%	2%
48 Costa de Marfil	16.897	1.300	81	5.058	4.790	91%	47%	43%	5%	15%	1%

Tabla 4.3: Continuación

País	Población (millones)	Tasa de	Volumen	TARHR	TARHR	Aguas	Aguas	Superpo-	Aguas	Aguas ³	Uso
		precipita- ción ¹ (mm/año)	TARHR 2005 (km ² /año)	per cápita 2000 (m ³ /año)	per cápita 2005 (m ³ /año)	superfi- ciales % TARHR	subterrá- neas % TARHR	sición ² % TARHR	entrantes % TARHR	salientes % TARHR	total % TARHR
49 Croacia	4.416	1.100	106	22.669	23.890	26%	10%	0%	64%	38%	
50 Cuba	11.328	1.300	38	3.404	3.370	83%	17%	0%	0%	0%	22%
51 Dinamarca	5.375	700	6	1.128	1.120	62%	72%	33%	0%	0%	21%
52 Dominica	79	3.400									
53 Ecuador	13.192	2.100	424	34.161	32.170	102%	32%	32%	0%	36%	4%
54 Egipto	73.390	100	58	859	790	1%	2%	0%	97%	0%	118%
55 El Salvador	6.614	1.700	25	4.024	3.810	70%	24%	24%	30%	0%	5%
56 Emiratos Árabes											
Unidos	3.051	100	0,2	58	49	100%	80%	80%	0%	0%	1,538%
57 Eritrea	4.297	400	6	1.722	1.470				56%	35%	5%
58 Eslovaquia	5.407	800	50	9.279	9.270	25%	3%	3%	75%	27%	
59 Eslovenia	1.982	1.200	32	16.031	16.080	58%	42%	42%	41%	60%	
60 España	41.128	600	112	2.794	2.710	98%	27%	25%	0%	31%	32%
61 Estados Unidos											
de América	297.043	700	3.051	10.837	10.270						
62 Estonia	1.308	600	13	9.195	9.790	91%	31%	23%	1%	3%	1%
63 Etiopía	72.420	800	122	1.749	1.680	16%	100%	16%	0%	80%	2%
64 Federación Rusa	142.397	500	4.507	30.980	31.650	90%	17%	11%	4%	0%	2%
65 Filipinas	81.408	2.300	479	6.332	5.880	93%	38%	30%	0%	0%	6%
66 Finlandia	5.215	500	110	21.268	21.090	97%	2%	2%	3%	25%	2%
67 Fiyi	847	2.600	29	35.074	33.710				0%	0%	0,2%
68 Francia	60.434	900	204	3.439	3.370	87%	49%	48%	12%	7%	20%
69 Gabón	1.351	1.800	164	133.333	121.390	99%	38%	37%	0%	0%	0,1%
70 Gambia	1.462	800	10	6.140	5.470	38%	6%	6%	63%	0%	0,4%
71 Georgia	5.074	1.000	63	12.035	12.480	90%	27%	25%	8%	19%	6%
72 Ghana	21.377	1.200	50	2.756	2.490	55%	49%	47%	43%	0%	1%
73 Grecia	10.977	700	74	6.998	6.760	75%	14%	11%	22%	2%	10%
74 Groenlandia	57	600	603	10.767.857	10.578.950				0%	0%	
75 Granada (país)	80	1.500									
76 Guadalupe	443	200									
77 Guatemala	12.661	2.700	111	9.773	8.790	91%	30%	23%	2%	47%	2%
78 Guayana Francesa	182	2.900	134	812.121	736.260				0%	0%	
79 Guinea	8.620	1.700	226	27.716	26.220	100%	17%	17%	0%	45%	1%
80 Guinea-Bissau	1.538	1.600	31	25.855	20.160	39%	45%	32%	48%	0%	0,4%
81 Guinea Ecuatorial	507	2.200	26	56.893	51.280	96%	38%	35%	0%	0%	0,4%
82 Guayana	767	2.400	241	316.689	314.210	100%	43%	43%	0%	0%	1%
83 Haití	8.437	1.400	14	1.723	1.660	77%	15%	0%	7%	0%	7%
84 Holanda	16.227	800	91	5.736	5.610	12%	5%	5%	88%	0%	9%
85 Honduras	7.099	2.000	96	14.949	13.510	91%	41%	31%	0%	0%	1%
86 Hungría	9.831	600	104	10.433	10.580	6%	6%	6%	94%	100%	7%
87 India	1.081.229	1.100	1.897	1.880	1.750	64%	22%	20%	34%	68%	34%
88 Indonesia	222.611	2.700	2.838	13.381	12.750	98%	16%	14%	0%	0%	3%
89 Irán	69.788	200	138	1.955	1.970	71%	36%	13%	7%	7%	53%
90 Irak	25.856	200	75	3.287	2.920	45%	2%	0%	53%		57%
91 Irlanda	3.999	1.100	52	13.673	13.000	93%	21%	19%	6%	0%	2%
92 Islandia	292	1.000	170	609.319	582.190	98%	14%	12%	0%	0%	0,1%
93 Islas Salomón	491	3.000	45	100.000	91.040				0%	0%	
94 Israel	6.560	400	2	276	250	15%	30%	0%	55%		122%
95 Italia	57.346	800	191	3.325	3.340	89%	22%	16%	5%	0%	23%
96 Jamaica	2.676	2.100	10	3.651	3.510	59%	41%	0%	0%	0%	4%

Tabla 4.3: Continuación

País	Población (millones)	Tasa de	Volumen	TARHR	TARHR	Aguas	Aguas	Superpo-	Aguas	Aguas ³	Uso
		precipita- ción ¹ (mm/año)	TARHR 2005 (km ² /año)	per cápita 2000 (m ³ /año)	per cápita 2005 (m ³ /año)	superfi- ciales % TARHR	subterrá- neas % TARHR	sición ² % TARHR	entrantes % TARHR	salientes % TARHR	total % TARHR
97 Japón	127.800	1.700	430	3.383	3.360	98%	6%	4%	0%	0%	21%
98 Jordania	5.614	100	1	179	160	45%	57%	25%	23%		115%
99 Kazajistán	15.403	200	110	6.778	7.120	63%	6%	0%	31%		32%
100 Kenia	32.420	700	30	985	930	57%	10%	0%	33%	30%	5%
101 Kirguistán	5.208	400	21	4.182	3.950	214%	66%	54%	0%	36%	49%
102 Kuwait	2.595	100	0.02	10	8	0%	0%	0%	100%	0%	2,227%
103 Laos	5.787	1.800	334	63.184	57.640	57%	11%	11%	43%	100%	1%
104 Lesotho	1.800	800	3	1.485	1.680	173%	17%	17%	0%	57%	2%
105 Letonia	2.286	600	35	14.642	15.510	47%	6%	6%	53%	2%	1%
106 Líbano	3.708	700	4	1.261	1.190	93%	73%	57%	1%	11%	31%
107 Liberia	3.487	2.400	232	79.643	66.530	86%	26%	26%	14%	0%	0,05%
108 Libia	5.659	100	1	113	106	33%	83%	17%	0%	117%	802%
109 Lituania	3.422	700	25	6.737	7.280	62%	5%	4%	38%	20%	1%
110 Luxemburgo	459	900	3	7.094	6.750	3	2%	3%	3%	68%	100%
111 Macedonia, Ex-Rep. Yug.	2.066	600	6	3.147	3.100	84%	0%	0	16%	100%	
112 Madagascar	17.901	1.500	337	21.102	18.830	99%	16%	15%	0%	0%	4%
113 Malasia	24.876	2.900	580	26.105	23.320	98%	11%	9%	0%	0%	2%
114 Malawi	12.337	1.200	17	1.528	1.400	93%	8%	8%	7%	93%	6%
115 Maldivas	328	2.000	0.03	103	91	0%	100%	0%	0%	0%	
116 Malí	13.409	300	100	8.810	7.460	50%	20%	10%	40%	52%	7%
117 Malta	396	400	0.1	129	130	1%	99%	0%	0%	0%	110%
118 Marruecos	31.064	300	29	971	930	76%	34%	10%	0%	1%	44%
119 Martinica	395	2.600	n.d.								
120 Mauricio	1.233	2.000	3	1.904	2.230	86%	32%	18%	0%	0%	22%
121 Mauritania	2.980	100	11	4.278	3.830	1%	3%	0%	96%	0%	15%
122 México	104.931	800	457	4.624	4.360	79%	30%	20%	11%	0%	17%
123 Mongolia	2.630	200	35	13.739	13.230	94%	18%	11%	0%	76%	1%
124 Mozambique	19.182	1.000	217	11.814	11.320	45%	8%	6%	54%	0%	0,3%
125 Myanmar	50.101	2.100	1.046	21.898	20.870	84%	15%	14%	16%	5%	3%
126 Namibia	2.011	300	18	10.211	8.810	23%	12%	0%	66%	72%	2%
127 Nepal	25.725	1.300	210	9.122	8.170	94%	10%	10%	6%	100%	5%
128 Nicaragua	5.597	2.400	197	38.787	35.140	94%	30%	28%	4%	0%	1%
129 Níger	12.415	200	34	3.107	2.710	3%	7%	0%	90%	96%	6%
130 Nigeria	127.117	1.200	286	2.514	2.250	75%	30%	28%	23%	0%	3%
131 Noruega	4.552	1.100	382	85.478	83.920	98%	25%	24%	0%	3%	1%
132 Nueva Caledonia	233	1.500									
133 Nueva Zelanda	3.904	1.700	327	86.554	83.760	0%	0%	1%			
134 Omán	2.935	100	1	388	340	94%	97%	91%	0%	0%	137%
135 Pakistán	157.315	300	223	2961	1.420	21%	25%	22%	76%	3%	76%
136 Panamá	3.177	2.700	148	51.814	46.580	97%	14%	12%	0%	0%	1%
137 Papúa Nueva Guinea	5.836	3.100	801	166.563	137.250	100%			0%	0%	0,01%
138 Paraguay	6.018	1.100	336	61.135	55.830	28%	12%	12%	72%	99%	0,1%
139 Perú	27.567	1.500	1.913	745.460	69.390	84%	16%	16%	16%	94%	1%
140 Polinesia Francesa	248										
141 Polonia	38.551	600	62	1.596	1.600	86%	20%	19%	13%	3%	26%
142 Portugal	10.072	900	69	6.859	6.820	55%	6%	6%	45%	0%	16%
143 Puerto Rico	3.898	2.100	7	1.814	1.820				0%	0%	
144 Qatar	619	100	0.1	94	86	2%	94%	0%	4%	0%	554%

Tabla 4.3: Continuación

País	Población (millones)	Tasa de	Volumen	TARHR	TARHR	Aguas	Aguas	Superpo-	Aguas	Aguas ³	Uso
		precipita- ción ¹ (mm/año)	TARHR 2005 (km ² /año)	per cápita 2000 (m ³ /año)	per cápita 2005 (m ³ /año)	superfi- ciales % TARHR	subterrá- neas % TARHR	Superpo- sición ² % TARHR	entrantes % TARHR	salientes % TARHR	total % TARHR
145 Reino Unido	59.648	1.200	147	2.465	2.460	98%	7%	6%	1%	0%	6%
146 República Centrafricana	3.912	1.300	144	38.849	36.910	98%	39%	39%	2%	98%	0,02%
147 Rep. Checa	10.226	700	13	1.280	1.290	100%	11%	11%	0%	100%	20%
148 República Dominicana	8.872	1.400	21	2.507	2.370	100%	56%	56%	0%	5%	16%
149 Rep. Moldava	4.263	600	12	2.712	2.730	9%	3%	3%	91%	85%	20%
150 Reunión	767	2.100	5	6.935	6.520	90%	56%	46%	0%	0%	
151 Ruanda	8.481	1.200	5	683	610	100%	69%	69%	0%	81%	1%
152 Rumania	22.280	600	212	9.445	9.510	20%	4%	4%	80%	0%	11%
153 San Cristóbal y Nieves	42	2.100	0	621	560	15%	85%	0%	0%	0%	
154 Samoa	180	3.000									
155 San Vicente y Granadinas	121	1.600									
156 Santa Elena	5	800									
157 Santa Lucía	150	2.300									
158 Santo Tomé y Príncipe	165	2.200	2,2	15.797	13.210				0%	0%	
159 Senegal	10.339	700	39	4.182	3.810	60%	19%	13%	33%	14%	4%
160 Serbia y Montenegro	10.519				19.820	20%	1%	1%	79%		
161 Seychelles	82	2.000									
162 Sierra Leona	5.168	2.500	160	36.322	30.960	94%	31%	25%	0%	0%	0,2%
163 Singapur	4.315	2.500	0,6	149	139				0%	0%	
164 Siria, Rep. Árabe de	18.223	300	26	1.622	1.440	18%	16%	8%	80%	119%	76%
165 Somalia	10.312	300	14	1.538	1.380	40%	23%	21%	56%	0%	23%
166 Sri Lanka	19.218	1.700	50	2.642	2.600	98%	16%	14%	0%	0%	25%
167 Sudáfrica	45.214	500	50	1.154	1.110	86%	10%	6%	10%	19%	31%
168 Sudán	34.333	400	65	2.074	1.880	43%	11%	8%	77%	30%	58%
169 Suecia	8.886	600	174	19.679	19.580	98%	1%	11%	2%	2%	2%
170 Suiza	7.164	1.500	54	7.462	7.470	76%	5%	5%	24%	76%	5%
171 Suriname	439	2.300	122	292.566	277.900	72%	66%	66%	28%	0%	1%
172 Suazilandia	1.083	800	4,5	4.876	4.160				41%	100%	18%
173 Tailandia	63.465	1.600	410	6.527	6.460	48%	10%	7%	49%	79%	21%
174 Tayikistán	6.298	500	16	2.625	2.540	396%	38%	19%	17%		75%
175 Tanzania	37.671	1.100	91	2.591	2.420	88%	33%	31%	10%	14%	2%
176 Territorios Palestinos (Oeste)	1.376	300	0	52	41	0%	82%	0%	18%	0%	
177 Territorios Palestinos (Este)	2.386		0,8		320	10%	90%	0%	0%	28%	
178 Togo	5.017	1.200	15	3.247	2.930	73%	39%	34%	22%	54%	1%
179 Tonga	105	2.000								0%	
180 Trinidad y Tobago	1.307	1.800	3,8	2.968	2.940				0%	0%	8%
181 Túnez	9.937	300	4,6	482	460	68%	32%	9%	9%	4%	60%
182 Turkmenistán	4.940	200	25	5.218	5.000	4%	1%	0%	97%		100%
183 Turquía	72.320	600	214	3.439	2.950	87%	32%	13%	1%	29%	18%
184 Ucrania	48.151	600	140	2.815	2.900	36%	14%	12%	62%	22%	27%
185 Uganda	26.699	1.200	66	2.833	2.470	59%	44%	44%	41%	56%	0%
186 Uruguay	3.439	1.300	139	41.654	40.420	42%	17%	17%	58%	0%	2%
187 Uzbekistán	26.479	200	50	2.026	1.900	19%	17%	4%	77%	116%	
188 Venezuela	26.170	1.900	1.233	51.021	47.120	57%	18%	17%	41%	6%	1%

Tabla 4.3: Continuación

País	Población (millones)	Tasa de	Volumen	TARHR	TARHR	Aguas	Aguas	Superpo-	Aguas	Aguas ³	Uso
		precipita- ción ¹ (mm/año)	TARHR 2005 (km ² /año)	per cápita 2000 (m ³ /año)	per cápita 2005 (m ³ /año)	superfi- ciales % TARHR	subterrá- neas % TARHR	sición ² % TARHR	entrantes % TARHR	salientes % TARHR	total % TARHR
189 Vietnam	82.481	1.800	891	11.406	10.810	40%	5%	4%	59%	4%	8%
190 Yemen	20.733	200	4	223	198	98%	37%	34%	0%	0%	162%
191 Yibuti	712	200	0,3	475	420	100%	5%	5%	0%	0%	3%
192 Zambia	10.924	1.000	105	10.095	9.630	76%	45%	45%	24%	100%	2%
193 Zimbabue	12.932	700	20	1.584	1.550	66%	25%	20%	39%	71%	13%

Fuente: FAO-AQUASTAT (2005).

Notas:

1. Precipitación media 1961-90 según el IPCC (mm/año). Al igual que en la base de datos de FAO-AQUASTAT, en algunos países se registran grandes discrepancias en cuanto a los datos nacionales y los del IPCC en la media de precipitaciones. En estos casos, los datos provenientes del IPCC se han modificado para asegurar la coherencia con los datos de los recursos hídricos.
2. La superposición es el agua compartida por aguas superficiales y subterráneas.
3. Flujo: septiembre de 2004 para las aguas superficiales y agosto de 2005 para las aguas subterráneas.



3ª Parte. El impacto del ser humano

Una serie de fuerzas continúan afectando seriamente a nuestros recursos hídricos naturales. Muchas de éstas son principalmente resultado de acciones humanas e incluyen cambios en los ecosistemas y paisajes, sedimentación, contaminación, sobreexplotación y cambio climático.

... cada cambio paisajístico tendrá sus propias consecuencias, generalmente de forma directa sobre los ecosistemas, o bien directa o indirectamente sobre los recursos hídricos...

La eliminación, destrucción o desequilibrio de los ecosistemas naturales son los factores que afectan en mayor medida a la sostenibilidad de nuestros recursos hídricos naturales. Este asunto se trata en el **Capítulo 5** en mayor profundidad. No obstante, debe puntualizarse que los ecosistemas con los que interactuamos están directamente ligados al bienestar de nuestros recursos hídricos naturales. A pesar de la dificultad de integrar las complejidades de los ecosistemas en los procesos tradicionales de evaluación y gestión del agua, hasta ahora centrados en la hidrología, este punto de vista se está defendiendo firmemente en muchos sectores y ámbitos científicos (por ejemplo, Falkenmark y Rockström, 2004; Figueras et al., 2003; Bergkamp et al., 2003). La base de este principio está en admitir que cada cambio paisajístico tendrá sus propias consecuencias, generalmente de manera directa, sobre los ecosistemas, o bien directa o indirectamente sobre los recursos hídricos. La magnitud de estas consecuencias variará según las condiciones del entorno, dentro de un amplio abanico de cambios paisajísticos posibles. Entre los cambios que pueden afectar al paisaje se incluyen: tala de bosques, sustitución de praderas u otros ecosistemas terrestres naturales por tierras de cultivo o pastoreo, urbanización (provocando cambios en los patrones de infiltración y escorrentía y también contaminación), eliminación o reducción de humedales, nuevas redes viarias para el transporte, canteras y explotaciones mineras a cielo abierto.

3a. Sedimentación

Los sedimentos se depositan en las masas de agua, tanto de forma natural como a causa de la acción del ser humano. Cuando esto ocurre de manera excesiva, ello puede tener graves efectos sobre nuestros recursos hídricos. Los sedimentos pueden depositarse en el agua como consecuencia directa de los cambios en el uso de la tierra y debido a las prácticas agrícolas, aunque se encuentran depósitos sedimentarios de forma natural en terrenos con escasa vegetación y más comúnmente en climas áridos y semiáridos tras la caída de lluvias intensas. La **Tabla 4.4** resume las principales causas de la aparición de excesivos depósitos sedimentarios e identifica las principales consecuencias que ello puede tener sobre los sistemas acuáticos y sobre los servicios que proporcionan los recursos hídricos. Un ejemplo documentado y cada vez más importante de generación de carga sedimentaria es la construcción de nuevas carreteras en países en vías de desarrollo, donde se presta escasa atención a las consecuencias de tales acciones sobre los sistemas acuáticos y el abastecimiento de agua corriente abajo. Globalmente, los efectos de una sedimentación excesiva se extienden generalmente más allá de nuestros sistemas de agua dulce y amenazan los hábitats costeros, humedales, peces y arrecifes de coral en el medio ambiente marino (véase el **Capítulo 5**). La importancia de ejercer un control sobre los sedimentos debería ser un factor básico a tener en cuenta en cualquier plan de desarrollo y

protección de los recursos hídricos. La Iniciativa Internacional sobre Sedimentación (ISI) de la UNESCO intentará mejorar el conocimiento de los fenómenos de sedimentación y dotar a los medios acuáticos y terrestres de una mayor protección.

3b. Contaminación

El ser humano lleva mucho tiempo usando el aire, la tierra y los recursos hídricos como "cubos de basura" en los que

deposita los residuos que genera. Estas prácticas hacen que la mayoría de los residuos no se traten adecuadamente y ello causa contaminación. Esto a su vez afecta a las precipitaciones (**Recuadro 4.2**), a las aguas superficiales (**Recuadro 4.3**) y a las aguas subterráneas (**Recuadro 4.4**), a la vez que degrada los ecosistemas (véase el **Capítulo 5**). Las fuentes de contaminación que afectan a nuestros recursos hídricos se pueden desarrollar a distintos

Tabla 4.4: Principales causas y consecuencias de la sedimentación

Relevancia	Sector	Acción o mecanismo	Consecuencias
FUENTES			
Zonas agrícolas, cuencas fluviales bajas	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> ■ escasos cultivos, pérdida excesiva de suelo 	<ul style="list-style-type: none"> ■ aumenta la erosión del suelo ■ libera productos químicos tóxicos al medio ambiente ■ se vierten sedimentos y contaminantes a los arroyos ■ aumento del coste de mantenimiento de los sistemas de irrigación
Bosques y desarrollo de áreas de acceso, cuencas aguas abajo	Industria forestal, construcción de carreteras, construcción, minería	<ul style="list-style-type: none"> ■ tala de árboles a gran escala ■ ausencia de reforestación del terreno ■ ausencia de control de la escorrentía en terrenos en pendiente 	<ul style="list-style-type: none"> ■ aumento de la escorrentía natural del agua ■ aumento de la erosión del suelo, creando más sedimentos
PRINCIPALES CONSECUENCIAS			
Principales ríos y vías de navegación	Navegación	<ul style="list-style-type: none"> ■ deposición en ríos y lagos ■ dragado (arroyos, reservorios, lagos o puertos) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ reduce la profundidad del agua, por lo que la navegación resulta difícil o imposible ■ libera productos químicos tóxicos en el medio acuático o terrestre
Ecosistemas acuáticos	Pesca / hábitat acuático	<ul style="list-style-type: none"> ■ descenso del nivel de penetración de la luz ■ mayores concentraciones de sólidos en suspensión ■ la absorción de energía solar aumenta la temperatura del agua ■ transportan compuestos tóxicos agrícolas e industriales ■ sedimentos en proceso de asentamiento y asentados 	<ul style="list-style-type: none"> ■ afecta a la alimentación y a la formación de bancos de peces; puede afectar a la supervivencia de los peces ■ irrita las branquias de los peces, puede causarles la muerte, destruye la mucosa protectora que cubre los ojos de los peces ■ desplaza a plantas, invertebrados e insectos de los lechos de los ríos, afectando a las fuentes de alimento de los peces, por lo que se produce una disminución en el tamaño y número de los peces, más infecciones y propensión a las enfermedades ■ causa estrés a algunas especies de peces ■ su presencia en el hábitat causa malformaciones o muerte en los peces, entierra y ahoga a las huevas ■ reduce la reproducción
Lagos, ríos, embalses como fuentes de abastecimiento	Abastecimiento de agua	<ul style="list-style-type: none"> ■ aumenta el desgaste de bombas y turbinas ■ reduce el aprovechamiento de la fuente de agua para otros usos ■ se necesita un tratamiento adicional para poder aprovecharlos 	<ul style="list-style-type: none"> ■ afecta a la distribución de agua, aumenta los costes de mantenimiento ■ reduce el valor del agua como recurso y su volumen ■ costes mayores
Instalaciones hidroeléctricas	Energía hidroeléctrica	<ul style="list-style-type: none"> ■ las presas atrapan los sedimentos transportados por los ríos ■ aumento del desgaste de bombas/turbinas 	<ul style="list-style-type: none"> ■ disminución de la capacidad de reserva ■ ciclo de vida más corto de la generación de electricidad ■ mayor mantenimiento, altos costes
Todas las vías de agua y sus ecosistemas	Productos químicos tóxicos	<ul style="list-style-type: none"> ■ se mezclan y absorben con las partículas de sedimentos 	<ul style="list-style-type: none"> ■ transportados hacia otras zonas y depositados en otros lugares ■ posterior liberación en el medio ambiente

Fuente: Adaptado de Environment Canada (2005a), www.atl.ec.gc.ca/udo/mem.html

Nota: El agua transforma los paisajes y transporta grandes cantidades de suelo y materiales de grano fino en forma de sedimentos.

Un sedimento es: 1) resultado de la erosión del paisaje, 2) transportado por los sistemas fluviales y, finalmente 3) depositado en un lecho fluvial, humedal, lago, reservorio o en el océano. Las partículas o fragmentos son erosionados de manera natural por el agua, el viento, los glaciares, o las actividades de plantas y animales. La erosión geológica (natural) tiene lugar lentamente durante siglos o milenios. La acción del ser humano puede acelerar la erosión. El material desalojado es transportado por los arroyos y los ríos si éste se encuentra expuesto a la erosión fluvial. La deposición puede tener lugar en zonas de inundaciones, islas, canales o deltas, mientras que cantidades importantes suelen acabar en lagos, reservorios y en los lechos de los ríos profundos.

RECUADRO 4.2: INFLUENCIA DE LA LLUVIA ÁCIDA SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La contaminación atmosférica producida por las plantas industriales y las emisiones de los vehículos provoca una deposición seca y húmeda. Esto fomenta el desarrollo de unas condiciones de acidez en las aguas superficiales y subterráneas, a la vez que conlleva la destrucción de los ecosistemas. Las deposiciones ácidas dañan la calidad del agua de lagos y arroyos ya que reducen sus niveles de pH (es decir, aumentan su acidez), afectan a su capacidad de neutralizar los ácidos y aumentan sus concentraciones de aluminio. Las grandes concentraciones de aluminio, unidas al aumento de la acidez, reducen la diversidad de especies y la abundancia de vida acuática en muchos lagos y arroyos. Mientras que en la actualidad la atención se centra en los peces, a menudo son cadenas alimentarias enteras las que sufren estos efectos negativos. A pesar de los avances realizados en este sentido, ésta sigue siendo una situación crítica que afecta a los recursos hídricos y a los ecosistemas de regiones desarrolladas de Europa y Norteamérica.

Esta situación continúa siendo un problema serio en muchos países en vías de desarrollo, por ejemplo en China, India, Corea, México, Sudáfrica y Vietnam, donde generalmente se ejerce un menor control sobre las emisiones y donde los sistemas de vigilancia y evaluación no son los adecuados (Bashkin y Radojevic, 2001). Conscientes de ello, el PNUMA y el Instituto Medioambiental de Estocolmo, están impulsando programas como el RAPIDC (Rápida Contaminación Atmosférica en Países en Vías de Desarrollo), con el objetivo de identificar las causas y las zonas de riesgo, y también de medir los niveles de lluvia ácida. El Banco Asiático de Desarrollo está destinando gran parte de sus fondos a reducir los orígenes de este problema en muchos países asiáticos. La lluvia ácida tiene importantes implicaciones transfronterizas, ya que puede recorrer largas distancias desde las zonas contaminadas hasta llegar a otros países. Por ejemplo, Japón resulta afectado por las emisiones de Corea y China, mientras que Canadá recibe, además de las suyas

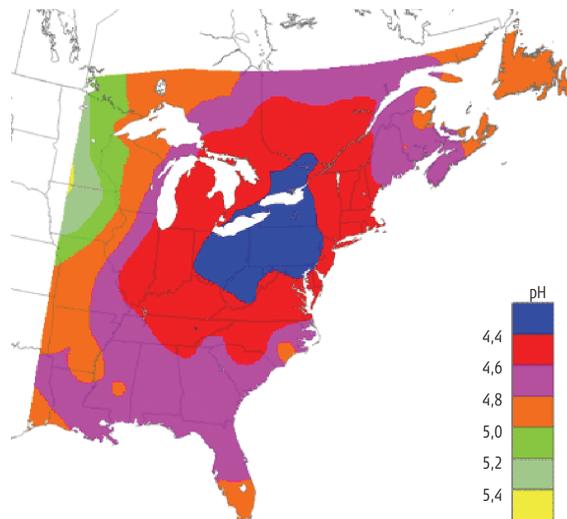
propias, importantes emisiones procedentes de EE. UU. Driscoll et al. (2001) señalan que aún existen factores que influyen sobre la calidad del agua en el nordeste de los EE. UU. y en el este de Canadá, a pesar de las medidas desarrolladas tras la aprobación de la Clean Air Act (Ley del aire limpio) y de sus enmiendas (1992).

El 41% de los lagos de Adirondacks en Nueva York y el 15% de los lagos de Nueva Inglaterra muestran signos de acidificación crónica o episódica. En Nueva Inglaterra se han conseguido modestas mejoras sobre la capacidad de neutralización de ácidos, mientras que, por el contrario, no se ha realizado ningún progreso en los Adirondacks ni en los Catskills de Nueva York. En toda la zona nordeste se han detectado elevadas concentraciones de aluminio en las aguas superficiales afectadas por la acidez.

Figura 4.6: La lluvia ácida y sus procesos de deposición



Figura 4.7: Nivel medio del pH del agua de lluvia a lo largo de cinco años en las regiones orientales de Canadá y Estados Unidos



Fuente: Environment Canada, 2005c.

RECUADRO 4.3: INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD DEL SER HUMANO SOBRE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

El desafío que supone mejorar la calidad del agua mediante la rehabilitación y la protección de lagos, arroyos, reservorios, humedales y las masas de aguas superficiales relacionadas, constituye un motivo de creciente preocupación mundial, reflejado en la reciente Directiva Marco del Agua de la Comisión Europea (CE, 2000). A pesar de ello, los riesgos de contaminación de las aguas superficiales siguen siendo muy elevados, sobre todo en los países en vías de desarrollo. Identificar las fuentes puntuales (FP) y no puntuales (FNP) de contaminación supone un valioso primer paso a la hora de identificar su naturaleza y el alcance de sus consecuencias sobre la calidad del agua. Normalmente, la contaminación por FP está directamente relacionada con el vertido de residuos por medio de las tuberías de industrias y municipios. El control de la misma es más directo y cuantificable y, en muchos países desarrollados, su mitigación se ha unido al tratamiento, con lo que se ha logrado una menor concentración de contaminantes antes del vertido. La contaminación por FNP se debe a la presencia de contaminantes de orígenes diversos y muy amplios que son transportados por la escorrentía hasta llegar a los ríos, lagos, humedales, aguas subterráneas y zonas costeras. Este tipo de contaminación es más difícil de tratar, porque hay un gran número de fuentes, por ejemplo numerosas zonas agrícolas que emplean pesticidas y nutrientes. Hoy día, sin embargo, la contaminación por FNP

recibe una mayor atención, pues sus consecuencias se están haciendo patentes en lagos, arroyos y aguas subterráneas, y también puede relacionarse con la degradación del agua dulce y de los ecosistemas marinos.

Puede encontrarse información más detallada sobre las consecuencias de la contaminación en los capítulos sobre asentamientos humanos (**Capítulo 3**), agricultura (**Capítulo 7**) e industria (**Capítulo 8**).

Temas emergentes

Solo un pequeño porcentaje de las sustancias químicas se someten a algún tipo de control local, nacional o internacional (Daughton 2004). La presencia de sustancias contaminantes en zonas altamente pobladas constituye un nuevo motivo de preocupación, al no haber sido nunca evaluadas ni reguladas, como en el caso de los fármacos (Wiegel et al. 2004). Según Reynolds (2003):

"Los científicos se preocupan cada vez más por las potenciales consecuencias sobre la salud pública de los contaminantes medioambientales que proceden de la industria, la agricultura, la medicina o de los usos domésticos habituales, por ejemplo, los cosméticos, detergentes y artículos de aseo personal. Una gran variedad de fármacos, entre los que se incluyen analgésicos, tranquilizantes, antidepresivos, antibióticos, píldoras anticonceptivas, terapias de sustitución

hormonal, agentes quimioterapéuticos, medicamentos anticonvulsivos, etc., se están introduciendo en el medio ambiente a través de los excrementos humanos y animales, mediante su eliminación en las redes de alcantarillado, o bien mediante la lixiviación de vertederos, con lo cual las reservas de aguas subterráneas podrían resultar afectadas. En las prácticas agrícolas encontramos otro de los principales orígenes de estos contaminantes, ya que el 40% de los antibióticos fabricados se emplean para el engorde del ganado. El estiércol contiene residuos de fármacos y se emplea como fertilizante del suelo, que por lixiviación puede llegar a penetrar en ríos y arroyos locales".

Reynolds señala además que el tratamiento convencional de las aguas residuales no elimina de manera eficaz la mayor parte de los compuestos farmacéuticos. Utilizar unos indicadores comunes para todos los contaminantes no es un sistema efectivo, ya que no siempre los contaminantes coinciden en sus patrones de contaminación. Reynolds (2003) sugiere que "la contaminación farmacéutica del medio ambiente implicará el desarrollo de una tecnología avanzada para el tratamiento de los residuos y para la depuración de aguas, y también conllevará el control del origen de los contaminantes en su punto de introducción en el medio ambiente. Todas estas cuestiones son objeto de continua investigación científica".

niveles (local, regional y mundial) pero en general se pueden clasificar (**Tabla 4.5**) en nueve grupos. La identificación de los grupos y los niveles de contaminación constituye un requisito previo para evaluar el riesgo de contaminación de los sistemas acuáticos y, de esta manera, para el ser humano y el medio ambiente. Una vez identificadas las principales fuentes de contaminación se pueden diseñar los planes paliativos más apropiados para minimizar su impacto sobre los recursos hídricos.

En la **Tabla 4.6** (Peters y Meybeck, 2000) se muestran las potenciales consecuencias de los distintos tipos de contaminación basadas en el área (escala) afectada, el tiempo que tarda en contaminarse, el tiempo necesario para limpiar (recuperar) una zona contaminada y los vínculos con los principales factores de control. Todas las demás formas de contaminación, con la excepción de los contaminantes patógenos, pueden extenderse a nivel regional. El hecho de que se tarde bastante más en recuperar una zona contaminada que en contaminarla refleja claramente la necesidad de adoptar el criterio de la precaución y de dar

prioridad a las estrategias de protección por encima de la implantación de costosas medidas de restauración ad hoc. Los países desarrollados han experimentado históricamente una serie de problemas relacionados con la calidad del agua causados por patógenos, eutrofización, metales pesados, acidificación, compuestos orgánicos, microcontaminantes y sedimentos procedentes de los residuos de origen municipal, industrial y agrícola (Webb, 1999; Meybeck et al., 1989; Revenga y Mock, 2000). En las últimas décadas, también en los países emergentes, como Brasil, China o la India, han surgido problemas similares relacionados con el agua. En otros países en vías de desarrollo, la contaminación del agua continúa siendo un gran problema, convirtiéndose en una de las principales causas de unas condiciones precarias de vida y una mala salud (Lenton, 2004; véase el **Capítulo 6**).

Información global sobre calidad del agua y contaminación

La evaluación de la calidad del agua permite documentar las características naturales del agua y determinar el alcance de la contaminación; sin embargo, el proceso de seguimiento

RECUADRO 4.4: INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD HUMANA EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La protección de las fuentes de aguas subterráneas se está convirtiendo en motivo de creciente preocupación mundial, tal y como se refleja en la directiva de la Comisión Europea, que se centra más en la prevención que en la limpieza de la contaminación (CE, 2003). La incidencia de la contaminación de las aguas subterráneas por la acción del ser humano sigue siendo alta, en particular en los países en vías de desarrollo. Zektser y Everett (2004) explican su influencia sobre la degradación de la calidad del agua. La urbanización, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y las empresas mineras de la mayoría de los países son responsables de la contaminación de las aguas subterráneas alrededor del mundo. En la **Figura 4.8** se ilustran las causas más comunes. El documento de referencia que se puede consultar en línea del Banco Mundial, la GWP (Asociación Mundial para el Agua), la OMS y la UNESCO (Foster et al. 2002) concluye que *“resulta ya evidente la amenaza cada vez mayor a la que se ven sometidas las aguas subterráneas por la contaminación y existen ejemplos bien documentados del daño irreversible provocado a importantes acuíferos, tras muchos años de negligencia generalizada de las políticas públicas”*. Este documento se complementa con una serie de recomendaciones que conforman el informe publicado conjuntamente en el 2003 por FAO, ONU-

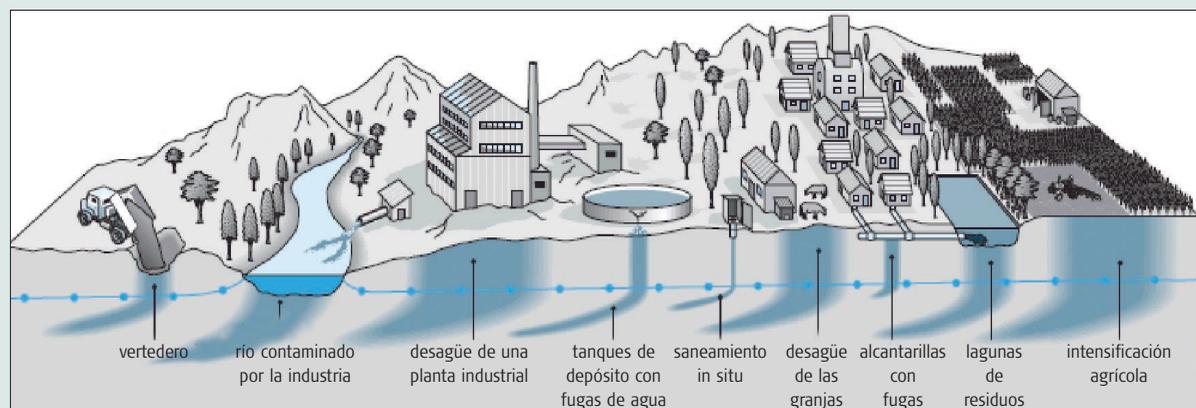
DAES, OIEA y UNESCO, en el que se abordaban directamente los cambios universales necesarios en la gestión de las aguas subterráneas (2003b) para alcanzar un desarrollo y un uso sostenibles del agua. La contaminación de las aguas subterráneas y la de las aguas superficiales se diferencia notablemente en cuanto a las acciones y los componentes que la causan. Además, los mecanismos de control sobre la movilidad y persistencia de los contaminantes son totalmente diferentes en los dos sistemas hídricos. Foster y Kemper (2004), PNUMA (2003), FAO (2003b) y Burke y Moench (2000) señalan que la gestión de las aguas subterráneas generalmente implica la aplicación de una amplia serie de instrumentos y medidas (acciones y sanciones técnicas, procesales, incentivas, legales y coercitivas, y campañas de sensibilización) para proteger unos recursos que no están tan a la vista como las masas de aguas superficiales.

Elaboración de mapas de vulnerabilidad de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas son menos vulnerables a la acción del ser humano que las aguas superficiales. No obstante, una vez que resultan contaminadas, su limpieza (remediación) lleva relativamente mucho tiempo (años), requiere unas técnicas exigentes y puede resultar mucho más costosa. A pesar de que

esto es ya sabido desde hace varias décadas (Vrba, 1985), este importante mensaje nunca ha llegado a arraigar de forma adecuada o duradera en los responsables de formular políticas ni en el público. Con el fin de salvar esta brecha, se están desarrollando métodos de evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas. Estos nuevos “mapas de vulnerabilidad” ya se habían aplicado con anterioridad a otros riesgos, como las inundaciones y los corrimientos de tierras, y en la actualidad pueden representar una contribución a los recursos hídricos y a los planes de ordenación de los usos del suelo (Vrba y Zaporozek, 1994). Los resultados de dichos estudios son fundamentales en aquellas zonas en las que los acuíferos suponen una fuente de abastecimiento de agua y son dependientes de un ecosistema en situación de riesgo. Unidos a otras aportaciones medioambientales han demostrado ser unos instrumentos eficaces a la hora de regular, gestionar y tomar decisiones relacionadas con los impactos originados por el cambio en la utilización actual o futura del suelo, los ecosistemas y las fuentes de abastecimiento de agua. Los mapas a gran escala de vulnerabilidad de las aguas subterráneas (por ejemplo, Francia, Alemania, España, Italia, la República Checa, Polonia, Rusia y Australia) sirven de directrices para la acotación de los usos del suelo a nivel nacional o regional.

Figura 4.8: Principales fuentes de contaminación de las aguas subterráneas



Nota: Esta figura ilustra el tipo de fuentes que podrían incluirse en un inventario como fuentes potenciales de contaminación de las aguas subterráneas.

Fuente: Foster et al. (2002).

Tabla 4.5: Fuentes de contaminación del agua dulce, efectos y principales constituyentes

Tipo de contaminación	Fuente primaria	Efectos ¹	Principales constituyentes ²
1 Materia orgánica	Vertido de residuos industriales y domésticos.	Falta de oxígeno en la columna de agua, a medida que ésta se descompone, sufre estrés o ahoga la vida acuática.	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Carbono Orgánico Disuelto (COD), Oxígeno Disuelto (OD)
2 Patógenos y contaminantes microbianos	Residuos domésticos, ganado y otros animales de granja, fuentes naturales.	Propaga enfermedades infecciosas a través de la red de abastecimiento de agua potable, provocando la aparición de enfermedades diarreicas y de parásitos intestinales, alta tasa de mortalidad infantil en los países en vías de desarrollo.	Shigella, Salmonela, Criptosporidium, Cólifome fecal (coliforme), Escherichia coli (heces de los mamíferos – E. coli).
3 Nutrientes	Principalmente debido a la escorrentía en tierras agrícolas y áreas urbanas, pero también a causa de los vertidos industriales.	Sobreestimula el crecimiento de algas (eutrofización), que posteriormente se descomponen, privando de oxígeno al agua y dañando la vida acuática. Los altos niveles de nitratos en el agua potable provocan enfermedades en la población.	Total de N (orgánico e inorgánico), total de P (orgánico e inorgánico). En caso de eutrofización: Oxígeno Disuelto, especies individuales de N (NH ₄ , NO ₂ , NO ₃ , N Orgánico), Ortofosfato)
4 Salinización	Lixiviación de suelos alcalinos por exceso de irrigación o de bombeo de los acuíferos costeros, que resulta en una intrusión de agua salada.	La acumulación de sal en el suelo, acaba con los cultivos y reduce las cosechas. El agua deja de ser potable.	Conductividad eléctrica, cloruro (seguido de una caracterización de cationes principales (Ca, Mg), aniones,
5 Acidificación (precipitación o escorrentía)	Sulfuro, óxidos de nitrógeno y partículas procedentes de la producción de energía eléctrica, la masificación industrial y las emisiones de vehículos y camiones (deposiciones húmedas y secas). Residuos procedentes del drenaje de las minas con ácidos y de las propias minas.	Incrementa la acidificación de lagos y arroyos, lo cual afecta negativamente a los organismos acuáticos y provoca la lixiviación de metales pesados como el aluminio en las masas de agua.	pH.
6 Metales pesados	Industrias y minas.	Subsiste en medios de agua dulce, como en sedimentos fluviales y humedales durante largos periodos. Se acumula en los tejidos de los peces y el marisco. Resulta tóxico para todo organismo humano o acuático que lo consuma.	Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr, Hg, As (en especial en las aguas subterráneas).
7 Componentes orgánicos tóxicos y microorganismos contaminantes ³	Gran variedad de orígenes: terrenos industriales, automóviles, granjeros, jardineros, vertederos municipales.	Una amplia gama de efectos tóxicos en la fauna acuática y también en los humanos, que van desde una ligera inmunodepresión hasta un envenenamiento grave o la incapacidad de procrear.	PAH, PCB, pesticidas (lindano, DDT, PCP, aldrin, dieldrin, endrin, isodrin, hexaclorobenceno,
8 Térmica	La fragmentación de los ríos a causa de la construcción de presas y depósitos que ralentizan el curso del agua y hacen que ésta se caliente. Industrias con torres de refrigeración y otras descargas de temperatura por encima de la temperatura ambiente por medio de conductos.	Cambios en los niveles de oxígeno y en la tasa de descomposición de la materia orgánica en la columna de agua. Puede alterar la composición de especies en la masa de agua receptora.	Temperatura.
9 Partículas de tierra en suspensión	La erosión natural del suelo, la agricultura, la construcción de carreteras y otros cambios en los usos de la tierra.	Reduce la calidad del agua potable y la de recreo, degrada los hábitats acuáticos llenándolos de partículas de arcilla, interrumpe las puestas de huevos e interfiere en la alimentación.	Total de sólidos en suspensión, turbidez.

Otros contaminantes incluyen la radiactividad, el flúor o el selenio.

Fuentes y notas:

1 Principalmente de Revenga y Mock (2000). Su recopilación de Taylor y Smith (1997); Shiklomanov, (1997); PNUMA/GEMS (1995).

2 De N.E. Peters, B. Webb. comunicación personal (2004).

3 La lista de microorganismos contaminantes incluye actualmente una serie de perturbadores endocrinos, antioxidantes, plastificadores, retardadores del fuego, repelentes de insectos, disolventes, insecticidas, herbicidas, fragancias, aditivos alimentarios, medicamentos de prescripción médica y productos farmacéuticos (por ejemplo, anticonceptivos, antibióticos, etc.), productos sin prescripción médica (por ejemplo, cafeína, nicotina y derivados, estimulantes).

Tabla 4.6: Patrones espaciales y temporales de aparición y mitigación de la contaminación

Principales causas / Cuestiones	Principales cuestiones relacionadas ¹	Escala ²			Tiempo de contaminación ³				Tiempo de mitigación ⁴			Principales factores de control		
		Local	Regional	Mundial	<1	1 a 10	10 a 100	>1	1 a 10	10 a 100	Biofísicos	Humanos		
Población	Patógenos				■									Densidad y tratamiento
	Eutrofización (*)					■								Tratamiento
	Microcontaminantes					■								Varios
Gestión del agua	Eutrofización (*)					■								Flujo
	Salinización						■							Balance hídrico
	Parásitos									■				Hidrología
Gestión del suelo	Pesticidas													Agroquímicos
	Nutrientes													Fertilizantes
	Sólidos en suspensión (*)													Construcción/deforestación
	Cambios físicos													Cultivo, minas, construcción, deforestación
Transporte por la atmósfera	Acidificación (*)													Ciudades, deshielo y emisiones de combustibles fósiles
	Microcontaminantes													Ciudades
	Radionúclidos				■									Industria
	Mega- Patógenos lópolis													Población y tratamiento
Cambio climático global	Salinización													Tipos de minas
	Microcontaminantes													
	Radionúclidos nucleares													
Ecología natural	Parásitos (*)													Temperatura y precipitación
	Salinización													Emisiones de combustibles fósiles y gases de invernadero
Geoquímica natural	Fluor (**)													Clima, hidrología
	Arsenico, Metales (**)													Clima, litología

Notas:

- 1 Afectan principalmente a las *aguas superficiales, **aguas subterráneas
- 2 Local <10.000 km², regional ->104 a 106 km², mundial->106 a 108 km²
- 3 Tiempo transcurrido entre causa y efecto
- 4 La mayor escala de tiempo es para las aguas subterráneas, seguidas de los lagos, y la más pequeña es para los ríos y arroyos

Leyenda de colores

Escala - la intensidad del color aumenta a medida que aumenta la dimensión del impacto
 Tiempo de contaminación y Tiempo de mitigación - en rojo las situaciones más críticas, en naranja las moderadamente críticas y en amarillo las situaciones menos críticas. El verde se utiliza para aquellas situaciones en que las acciones de mitigación podrían durar menos de un año (patógenos).

Fuente: Adaptación de Peters y Meybeck (2000).



Restos de comida en el río Mekong tras finalizar las actividades del mercado diario, Vietnam

actual es más universal y está también relacionado con la salud y los factores socioeconómicos. La recopilación internacional de datos sobre la calidad de las aguas superficiales y subterráneas a escala mundial todavía está relativamente en pañales si la comparamos con los datos disponibles sobre las precipitaciones y la escorrentía del agua superficial. La obtención de este tipo de datos siempre ha sido dificultosa, a pesar de que durante décadas se ha intentado facilitar su recogida y difusión. Esto es debido a varias razones. Los centros nacionales no siempre han estado integrados en redes institucionales. La mayoría de los países simplemente no están acostumbrados a comunicar esta información a nadie más que a las instituciones y usuarios más cercanos para proyectos nacionales o específicos. Además, en muchos países en vías de desarrollo, no existen muchos datos disponibles, e incluso en aquellos lugares donde sí se han recogido, publicarlos no es una prioridad para las ya sobrecargadas instituciones nacionales y subnacionales responsables de los recursos hídricos, que apenas cuentan con fuentes de financiación. A pesar de ello, en los tres últimos años se han realizado progresos en este campo. GEMS/Agua⁴, la base de datos internacional sobre calidad del agua, puede consultarse a través de Internet desde marzo de 2005 y recientemente ha iniciado una amplia serie de colaboraciones con organismos, ONG y grupos especializados en la calidad de los datos con el fin de armonizar los datos y la información existentes sobre agua.

4. Visite www.gemstat.org para más información.

Entre todos ellos han ideado un programa QA/QC (garantía y control de calidad), que incluye valoraciones de laboratorio según los métodos que emplean la mayoría de los laboratorios que comunican sus datos a GEMS/Agua, disponibles sin coste alguno. GEMS/Agua (2005) ha informado de que recibe datos de cerca de 1.500 estaciones, de las cuales casi 100 están dedicadas a los lagos y las aguas subterráneas.

Los países están tomando mayor conciencia de la necesidad de obtener datos sobre la calidad del agua de las cuencas fluviales para evaluar sus impactos y diseñar mejores planes para su uso y su reutilización, con el fin de satisfacer las demandas de calidad y cantidad. Además, cada vez más acuíferos y cuencas fluviales se utilizan de forma compartida, y existen planes de desarrollo para el futuro. Muchas de estas iniciativas cuentan con un amplio apoyo por parte de los programas del FMAM (Fondo para el Medio Ambiente Mundial) y de la UNESCO.

3c. Sobreextracción

Los problemas de la sobreextracción en masas de aguas superficiales y aguas subterráneas están bien documentados, y muchas veces tienen que ver con la desviación de los cauces fluviales, la construcción de presas y la deforestación. Estos problemas normalmente se agravan durante los largos períodos secos. Existen numerosos ejemplos de la reducción notable del caudal de los ríos más grandes e importantes del mundo. Algunas de las cuencas afectadas son las siguientes: Níger, Nilo, Rwizi, Zayandeh-Rud (África); Amu Daria, Ganges, Jordán, Lijiang, Sir Daria, Tigris y Éufrates, Yangtsé y Amarillo (Asia); Murray-Darling (Australia); y Columbia, Colorado, Río Grande y San Pedro (Norteamérica). Algunos de los lagos y mares interiores que sufren de un descenso crítico de su tamaño y volumen son: lagos Balkhash, Drigh, Hamun, Manchar, y el Mar de Aral y Mar Muerto (Asia); lagos Chad, Nakivale y en la zona oriental del Valle del Rift, por ejemplo, Nakuru (África); lago Chapala (Norteamérica); y lago Mono y Mar Salton (Norteamérica). Cada vez se alerta de la existencia de más casos de acuíferos con un nivel de agua extremadamente bajo, por ejemplo los de Ciudad de México, los de Florida y de Ogallala (América del Norte) y también en China, India, Irán, Pakistán y Yemen (Asia).

A pesar de haber transcurrido muchos años de abuso evidente y durante los que se ha provocado la alteración de las condiciones del agua y de los ecosistemas relacionados, todavía persisten muchas de aquéllas mismas causas. Entre las más importantes destacan las prácticas altamente ineficientes de aprovisionamiento de agua para la agricultura y los usos municipales, la deforestación y la falta de control sobre la explotación de los recursos hídricos subterráneos y superficiales. El desarrollo inadecuado de los embalses y las desviaciones de los cauces, unidos a la falta de estudio de alternativas para la conservación y la reducción del consumo al mínimo (gestión de la demanda) han complicado y aumentado aún más los impactos sobre los recursos hídricos

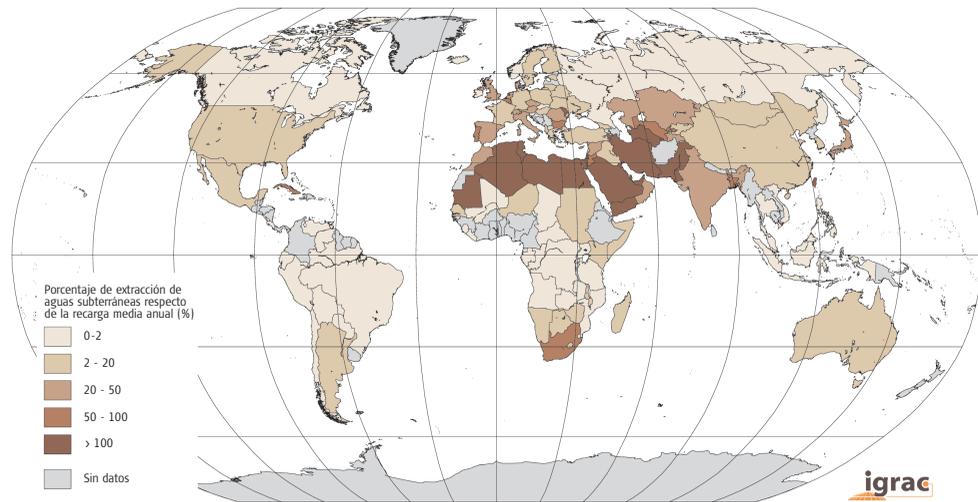
actuales. A pesar de que empiezan a verse signos esperanzadores del cambio gracias a ciertas actuaciones locales (véanse los **Capítulos 5 y 7**), todavía son muy pocos en comparación con las amplias modificaciones que deberían llevarse a cabo en ámbitos nacionales, regionales y subnacionales para revertir y contrarrestar estos fuertes impactos continuados.

La sobreextracción de aguas subterráneas es una situación especial, pues no resulta tan evidente a simple vista y tampoco es fácil reconocer ni reaccionar a sus efectos. La extracción de agua de los acuíferos mediante bombeo ha aumentado de manera global, en especial durante la segunda mitad del siglo XX. A pesar de que ello ha reportado una serie de beneficios, algunos han sido sostenibles durante períodos relativamente cortos de tiempo y han tenido unos efectos secundarios negativos importantes (PNUMA, 2003; FAO, 2003b; Burke y Moench, 2000). Por ejemplo, en India se obtuvieron unos beneficios iniciales impresionantes de la explotación de las aguas subterráneas poco profundas, lo cual permitió doblar la superficie de tierra irrigada y por tanto incrementar espectacularmente la producción de alimentos. Sin embargo, esto también provocó cambios trascendentales en los regímenes locales del agua que tuvieron como resultado una serie de impactos, como la disminución de los niveles freáticos y el agotamiento de los recursos hídricos subterráneos en algunas zonas. Existen casos similares en todas las regiones climáticas del mundo, lo cual demuestra que la sobreextracción de las aguas subterráneas es un fenómeno muy extendido. Los resultados de la sobreextracción de las aguas subterráneas pueden verse en: la reducción de las cosechas de primavera; el secado de los ríos y el empeoramiento de la calidad del agua debido a los bajos niveles de las contribuciones de caudal de base; intrusión de aguas salinas u otras aguas de baja calidad en las zonas de agua dulce de los acuíferos; escasa o nula productividad debido a los bajos niveles de los pozos; mayores costes de producción debido a la construcción de pozos o a la necesidad de ampliar las galerías subterráneas para la conducción del agua (qanats) a causa de la disminución de aportes; ecosistemas con menor dependencia de las aguas subterráneas, incluidos los humedales, por culpa del estrés o de la pérdida de su capacidad de recuperación, causada por suministros inadecuados de agua. El hundimiento del suelo es otro de los impactos más extendidos de un bombeo excesivo, de lo que existen ejemplos en una serie de grandes ciudades de China, Japón, México y EE. UU. No obstante, este tipo de impacto puede detenerse cuando el bombeo del acuífero se practica de manera discontinua, si bien sus efectos suelen ser irreversibles. Llamas y Custodio (2003) ofrecen una compilación de documentos recientemente actualizados que ilustran la gran magnitud de los impactos de la explotación intensiva de las aguas subterráneas. Para ello, muestran ejemplos de criterios que han llevado a la sobreextracción y explican de qué forma estos criterios pueden formar parte de estrategias de desarrollo sostenible.



Río Tigris, Irak

La sobreextracción de aguas subterráneas es una situación especial ya que no resulta tan evidente a simple vista y tampoco es fácil reconocer y reaccionar a sus efectos

Mapa 4.3: Tasa de extracción de aguas subterráneas en relación con el porcentaje medio de recarga

Nota: Los porcentajes bajos indican la existencia de aguas subterráneas sin explotar, los porcentajes mayores denotan un estrés debido a su desarrollo, o incluso una sobreexplotación.

Fuente: IGRAC, 2004.

En muchos países de Oriente Medio, del sur y norte de África, de Asia, en algunos países de Europa y en Cuba se están registrando unos altos niveles de explotación

El **Mapa 4.3** presenta un indicador del desarrollo de las aguas subterráneas que compara el nivel de consumo de aguas subterráneas en cada país con el volumen estimado de recarga. Por ejemplo, la explotación de más del 50% de la recarga, generalmente causa estrés en la sostenibilidad del acuífero en los sistemas de aguas subterráneas. En muchos países de Oriente Medio, del sur y norte de África, de Asia, en algunos países de Europa y en Cuba se están registrando unos altos niveles de explotación. Además, como ya se ha mencionado anteriormente, también se observa una sobreexplotación en algunas regiones de China, India, México, Pakistán y EE. UU., que generalmente presentan una gran aridez y una alta densidad de población. El cálculo del consumo de aguas subterráneas, comparado con los volúmenes de recarga a nivel nacional y subnacional, especialmente en el caso de acuíferos individuales, es una medida que se debería poner en práctica para identificar y adoptar las actuaciones correctivas pertinentes con el fin de mantener un desarrollo sostenible de las aguas subterráneas.

3d. Calentamiento global y cambio climático

Como se ha señalado anteriormente, existe una evidencia empírica del impacto del calentamiento global sobre los recursos hídricos. El IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), en colaboración con nuevos socios, ha comenzado a abordar esta cuestión, que viene a sumarse a su tradicional estudio de los gases de efecto invernadero y de los cambios en las temperaturas. En una reciente reunión del IPCC (IPCC, 2004, p. 27) se identificaron dos cuestiones relacionadas con el agua y con el impacto del calentamiento global: una de ellas estaba relacionada con sus consecuencias y la otra hacía referencia a la falta de información. Estas dos cuestiones, extraídas del informe del IPCC, se enuncian como sigue:

- “La frecuencia y la magnitud de estos acontecimientos climáticos extremos aumentarán incluso con un leve ascenso de las temperaturas y serán mucho mayores cuanto más altas sean las temperaturas. Estos acontecimientos suelen causar un gran impacto a nivel local, por lo que determinados sectores y regiones podrían resultar seriamente afectados. El aumento de acontecimientos extremos podría originar unos valores de diseño críticos, o bien exceder los umbrales naturales, más allá de los cuales aumentaría rápidamente la magnitud de sus consecuencias”.
- La falta de información en el sector del agua se definió como:
 - (1) conocimiento insuficiente sobre las consecuencias en distintas partes del mundo, en particular en los países en vías de desarrollo,
 - (2) ausencia casi total de información sobre las consecuencias bajo diferentes patrones de desarrollo y según la intensidad de la mitigación,
 - (3) no existe una relación clara entre el cambio climático y el impacto sobre los recursos hídricos,
 - (4) escaso análisis de la capacidad y del coste de adaptación, y
 - (5) ausencia de entendimiento acerca de cómo afectan los cambios en la variabilidad al medio ambiente acuático.

Arnell (2004) también evaluó los efectos previstos, tanto de la población como del clima, sobre las regiones con estrés hídrico mediante la formulación de hipótesis sobre el crecimiento de la población y basándose en los modelos de cambio climático. Su análisis concluye:

El cambio climático aumenta el estrés hídrico allí donde disminuye la escorrentía, lo cual engloba a los países del

Mediterráneo y a regiones de Europa, de Centroamérica y Sudamérica y del sur de África. En otras zonas del mundo que sufren de escasez de agua, en especial en el sur y el este de Asia, el cambio climático provoca un aumento de la escorrentía, pero esto puede no resultar tan beneficioso en la práctica, ya que dicho aumento suele ocurrir durante la estación húmeda, y este suplemento adicional de agua ya no suele estar disponible durante la estación seca.

Sin embargo, también señala que en los resultados de los modelos el número de personas afectadas llega a multiplicarse por cuatro, en función de las distintas hipótesis sobre la población y el clima.

Shiklomanov y Rodda (2003) concluyen que sólo se han desarrollado predicciones y observaciones generales basándose en la evaluación hasta la fecha del impacto del calentamiento global sobre los recursos hídricos. Éstos están de acuerdo con Arnell (2004) en que la evaluación de los futuros recursos hídricos sólo podrá realizarse mediante estimaciones de los posibles cambios climáticos regionales (no mundiales), en especial de las precipitaciones y las temperaturas estacionales y mensuales. Dejan claro que las estimaciones actuales sobre el cambio climático no resultan en absoluto fiables, ni siquiera en el caso de las regiones y las cuencas fluviales más extensas. Por último, manifiestan que la falta de información sobre las consecuencias específicas del calentamiento global sobre los recursos hídricos es uno de los mayores desafíos científicos de la hidrología hoy en día.

RECUADRO 4.5: ACELERACIÓN DEL RETROCESO DE LOS GLACIARES

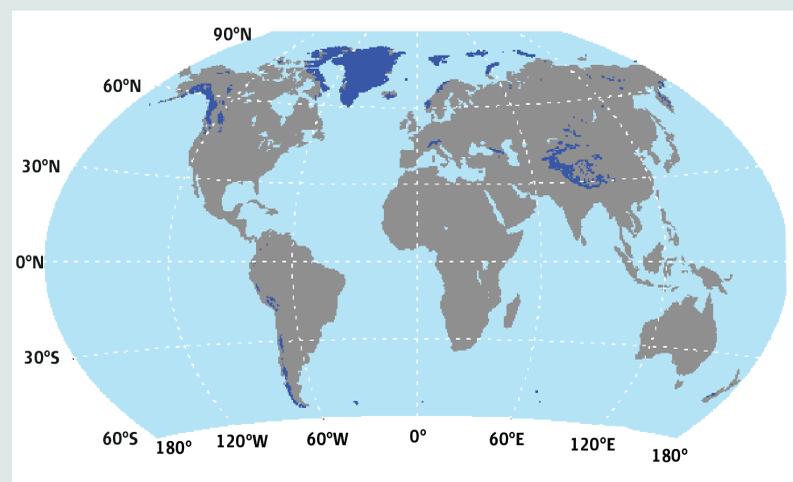
A lo largo del último siglo, los glaciares continentales y de montaña de todo el mundo han experimentado un retroceso y una disminución de su grosor. En particular, el retroceso de los glaciares se ha acelerado de forma global en los últimos años (Arendt et al. 2002; Dyurgerov 2003). El descenso del balance medio de masa que tuvo lugar durante el período 1990-99 fue tres veces mayor que en la década anterior (Frauenfelder et al. 2005). Estos datos se basan en mediciones del balance de la masa glaciar practicadas en treinta glaciares situados en nueve regiones montañosas de Asia, Europa, Sudamérica y Norteamérica.

China podría servir de ejemplo. En 2004, la Agencia France Presse (AFP) alertaba sobre la preocupante desaparición de los glaciares observada en Asia, en particular en China y en Nepal. Yao Tangdong, el glaciólogo de más renombre en China, apareció en los medios estatales asegurando que "está a punto de suceder una catástrofe ecológica en el Tíbet debido al calentamiento global, la mayoría de los glaciares de la región podrían derretirse para el año 2100". Esta conclusión se basaba en los resultados de un estudio de un grupo de veinte científicos chinos y americanos que duró cuarenta meses y en el que se mostraban islotes de hielo aislados que solían estar unidos a los glaciares a

un nivel por encima de 7.500 m. A pesar de que los glaciares del Tíbet han retrocedido durante las cuatro últimas décadas debido al calentamiento global, la tasa de retroceso ha aumentado espectacularmente desde principios de los años 90. En un principio se pensó que el agua procedente del deshielo de los glaciares podría ser una fuente de agua adicional para las áridas regiones del norte y del oeste de China. Sin

embargo, esta esperanza no llegó a materializarse, ya que la mayor parte de la escorrentía del glaciar se evapora mucho antes de llegar a manos de los agricultores afectados por la sequía. "El coste humano podría ser enorme" anuncia la AFP (2004), ya que casi 300 millones de chinos viven en las regiones áridas del oeste del país y el agua que proviene de los glaciares constituye su medio de subsistencia.

Mapa 4.4: Principales regiones de glaciares continentales y de montaña



Fuente: GLIMS, 2005 (Mediciones del hielo terrestre mundial desde el espacio, nsidc.org/data/glims).



4ª Parte. Adaptar las demandas al suministro

Se han propuesto numerosas respuestas para satisfacer una demanda de agua cada vez mayor. En algunos casos, la respuesta gira en torno a cómo compensar la variabilidad natural del ciclo hidrológico para proporcionar un recurso siempre disponible. En otros casos, la respuesta se centra en la superación de la escasa disponibilidad de agua en cantidad y calidad debido a la acción del ser humano y en el desarrollo desde la perspectiva de la gestión de la demanda.

La mayor parte de las regiones del mundo de clima seco que sufren escasez de agua disponen de técnicas ancestrales para la conservación de este recurso. Estas prácticas se siguen manteniendo y completando con medidas para la gestión de la demanda. Con el fin de satisfacer una demanda cada vez mayor, los gestores de los recursos hídricos aumentan el limitado suministro natural de agua gracias a medidas como la desalinización, la reutilización del agua, la mejora de la recarga de las aguas subterráneas y los trasvases entre cuencas.

No obstante, las regiones con abundante agua (climas fríos y tropicales) están acostumbradas a los planes de suministro de agua y suelen adoptar medidas de gestión especialmente adaptadas a sus circunstancias concretas. A menudo se da por sentado que los recursos seguirán siendo relativamente abundantes y que, en caso de contaminación, estos podrían reemplazarse o tratarse enseguida; que se puede remediar cualquier alteración en el equilibrio del ecosistema; y que se puede desviar y almacenar una cantidad suficiente de agua para superar las molestias que provocan las variaciones estacionales de caudal. No obstante, en estas regiones, las consecuencias del desarrollo humano han sido más graves de lo que se previó inicialmente. Los recursos hídricos han disminuido en cantidad y en calidad, y los hábitats naturales

se han puesto en peligro hasta el punto de estar por debajo de su nivel de recuperación. Como resultado de ello, están surgiendo propuestas que incluyen algunos métodos de gestión de la demanda ya empleados en climas secos. En ambos casos, es necesario cuidar y, en la medida de lo posible, restaurar el estado del medio ambiente manteniendo tanto los ecosistemas acuático-terrestres como los acuáticos por encima de los niveles de recuperación. Estas medidas podrían reportar grandes beneficios a largo plazo a los recursos hídricos de las distintas regiones.

4a. Caudales ecológicos para preservar los ecosistemas y aumentar los recursos hídricos

La mayor sensibilización acerca del importante papel que juegan los ecosistemas en relación con los recursos hídricos y con la sostenibilidad se debe al reciente enfoque sobre los caudales “ecológicos” o caudales “entrantes”. Dyson et al. (2003) definen los caudales ecológicos de la siguiente forma:

el régimen hídrico disponible en un río, un humedal o una zona costera, que sirve para mantener los ecosistemas y sus beneficios. Éstos contribuyen de manera fundamental a la salud del río, al desarrollo económico y al alivio de la pobreza.

RECUADRO 4.6: GESTIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS (MAR) – UN EJEMPLO EN VIETNAM

La provincia de Binh Thuan se sitúa a lo largo de la planicie costera en la parte más baja de la mitad este de Vietnam. Su ciudad más importante es Phan Tiet, a 200 km al este de Ciudad Hochiminh. La provincia tiene aproximadamente 8.000 km² de superficie y una población total de cerca de 1 millón de habitantes.

Antes de 1975, un denso bosque tropical poblaba la zona, pero éste desapareció para dar sitio a los campos de arroz, lo cual originó una desertificación masiva. Debido a una distribución irregular de las lluvias y a un periodo de cuatro meses de escasas precipitaciones, de diciembre a marzo, la zona sufre una escasez de agua considerable durante la estación seca.

Con el fin de combatir la desertificación, se están adoptando medidas para la rehabilitación del ecosistema, y se están desarrollando técnicas de recuperación para restaurar los sistemas acuíferos y su capacidad de retención de aguas subterráneas. Estas técnicas se están utilizando concretamente en el subdistrito de Hong Pong (distrito de Bac Binh), situado a unos 25 km al nordeste de Phan Tiet, sobre una superficie de aproximadamente 30 km² que engloba a tres aldeas.

La evaluación geohidrológica de la zona, formada por un lecho rocoso semi-permeable y material poroso (dunas de arena) con un espesor de hasta 150 m, permite el empleo de técnicas SAR (almacenamiento y recuperación del acuífero) que

redireccionan el agua de lluvia durante la estación lluviosa y permiten el uso del recurso durante el periodo seco (diciembre-marzo).

La implementación del proyecto por UNESCO está en curso, y los resultados alcanzados hasta ahora han permitido que la zona, en particular la depresión morfológica de Nuoc Noi, donde el nivel freático del acuífero está muy próxima al nivel del terreno, haya sido seleccionada para su inclusión en el Proyecto de Recargas de Acuíferos. El empleo de técnicas de filtración ya está obteniendo unos resultados satisfactorios que se reflejan en un aumento de la calidad del agua. Tras el filtrado natural, las aguas subterráneas pueden extraerse para destinarse a distintos propósitos (humanos y agrícolas).

Los medios para mantener y restaurar estos caudales sometidos a múltiples usos y demandas competitivas están siendo considerados por muchos países y cuencas. En algunas regiones, las consideraciones relativas a los caudales ecológicos se están integrando en la política, las leyes y regulaciones sobre el agua y en las prácticas de gestión del agua. Sudáfrica (1997), Australia (CSIRO, 2004) y numerosos estados de EE. UU., por ejemplo Connecticut y Tejas entre otros, ya disponen de una legislación de gran alcance y de prácticas sobre el terreno que tienen en cuenta los caudales ecológicos. Se precisa llevar a cabo una mayor labor de investigación con el fin de conocer los volúmenes, niveles y calidad del agua necesarios para mantener la capacidad de recuperación de los ecosistemas durante las variaciones estacionales y en los períodos de estrés climático. Además, lograr que los organismos de gestión del agua de muchos países en vías de desarrollo, con una clara preferencia por las obras de ingeniería, incorporen y consoliden este concepto, supone un reto adicional para no poner en peligro la recuperación del ecosistema de las cuencas hidrográficas. (véase el **Capítulo 5**)

4b. Combatir la variabilidad natural

La variabilidad, aplicada en particular a la escorrentía del agua, ha propiciado la consolidación de prácticas ancestrales de interceptación, desviación y almacenamiento de agua para disponer de unos volúmenes adecuados con el fin de satisfacer las necesidades y las demandas de los usuarios.

Recogida del agua de lluvia

La gestión del agua de lluvia goza de una atención renovada como alternativa o como instrumento para aumentar el suministro de agua. Interceptar y recoger las aguas pluviales es una práctica ancestral que se remonta a los tiempos prebíblicos (Pereira et al., 2002). Estas técnicas se empleaban en Palestina y Grecia hace 4.000 años y han sido aplicadas en el sur de Asia durante los últimos 8.000 años (Pandey et al., 2003). Las antiguas residencias romanas estaban dotadas de cisternas y patios empedrados que recogían el agua de lluvia y así complementaban el suministro que proporcionaban los acueductos a la ciudad; y, ya en el año 3.000 a.C, las comunidades agrícolas de Baluchistán embalsaban el agua de lluvia para destinarla al riego. En India, estas técnicas se han empleado recientemente de forma extensiva para recargar directamente las aguas subterráneas a un ritmo superior al de las condiciones naturales de recarga (UNESCO, 2000; Mahnot et al., 2003). Algunos informes procedentes de varias organizaciones internacionales dedicadas a este tema⁵ indican que en los once proyectos que se llevaron a cabo en Delhi se lograron aumentar los niveles de las aguas subterráneas entre 5 y 10 metros en sólo dos años. De hecho, la puesta en práctica de la gestión del agua de lluvia en India parece ser una de las más modernas y actualizadas del mundo. La página web www.rainwaterharvesting.org ofrece enlaces a casos en los que la gestión del agua de lluvia se ha llevado a cabo con éxito en distintos países, tanto

en medios urbanos como rurales. Una de las ventajas de esta técnica es que sus costes son relativamente bajos y que permite que los programas individuales o comunitarios desarrollen y gestionen a nivel local las infraestructuras necesarias (instrumentos de recogida, embalses, tanques de almacenamiento, estructuras de recarga de aguas superficiales o subterráneas, pozos,...). Los planes a gran escala para recoger el agua de lluvia, que interceptan la escorrentía con montículos de tierra de poca altura o mediante la construcción de diques para aumentar así la filtración, se han desarrollado también aguas arriba, allí donde la deforestación ha reducido la disponibilidad de agua. En PNUMA (2005) se describen los diversos métodos empleados para recoger un agua de lluvia suficiente como para satisfacer las demandas de las comunidades locales y las cosechas.

Desviación del agua

La desviación de las aguas superficiales hacia cuencas cercanas o lagunas de infiltración, diques, pozos de recarga o de inyección para la recarga de acuíferos aluviales o de otro tipo, son algunas de las técnicas empleadas para combatir la variabilidad natural del caudal, reducir las pérdidas por evaporación y obtener un agua de mejor calidad. Los programas de desviación del agua implantados en todo el planeta se conocen como ASR (almacenamiento y recuperación artificiales) o MAR (gestión de la recarga de acuíferos) (véase el **Recuadro 4.6**). Esta práctica se está aplicando en zonas áridas y semiáridas de Oriente Medio y en algunas regiones mediterráneas. La escorrentía de los "wadis" (lechos fluviales que sólo contienen agua durante períodos de lluvias torrenciales) queda retenida por unos montículos de tierra tras las lluvias infrecuentes pero torrenciales, que de lo contrario irían a parar al mar o se evaporarían. El agua se filtra en la capa de grava subyacente, por lo que suele estar disponible durante períodos más largos, sin sufrir pérdidas excesivas por evaporación, lo que ocurriría normalmente en el almacenamiento en superficie. En zonas más húmedas, se practican desviaciones hacia el depósito aluvial, no sólo para almacenar y mantener las aguas subterráneas que abastecen a los ecosistemas, sino también para reducir el tratamiento que necesitan los sistemas de abastecimiento del agua recogida de la zona aluvial aguas abajo.

Asociaciones profesionales tales como la Asociación Nacional de Aguas Subterráneas de Estados Unidos (NGWA) y la Comisión para la Gestión de la Recarga de Acuíferos (MAR)⁶ de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH), en colaboración con la UNESCO y otros organismos internacionales, apoyan activamente los programas MAR mediante la investigación aplicada, el fortalecimiento de capacidades y una serie de proyectos piloto. Los programas MAR, algunos de los cuales contemplan la inyección de aguas residuales depuradas, se están llevando a cabo tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo (por ejemplo en Australia, China, Alemania, Hungría, India, Kenia, México, Omán, Pakistán, la región del sur de África, Suiza y EE. UU.).



Interceptar y recoger el agua de la lluvia es una práctica ancestral que se remonta a los tiempos prebíblicos...

5. Visitar www.irha-h2o.org para más información.

6. www.iah.org/recharge/MAR.html

... el principal reto hidrológico será conseguir un mayor equilibrio entre el volumen almacenado necesario para satisfacer las demandas de los usuarios y el flujo de entrada y salida...



Almacenar agua en reservorios

La construcción de presas para crear embalses ha sido nuestra respuesta habitual ante la creciente demanda de agua con el fin de proporcionar energía hidroeléctrica, irrigación, abastecimiento de agua potable, pesca y ocio, y también para minimizar las consecuencias y los riesgos de nuestro bienestar frente a acontecimientos climáticos de gran intensidad, como inundaciones y sequías. Estas construcciones recogen la escorrentía natural, generalmente variable en cuanto a su localización, duración y magnitud y la almacenan para que esté disponible de forma constante y segura. Tener una buena información acerca del número y la capacidad de las presas es esencial para poder evaluar los impactos y la capacidad de respuesta a nivel local, nacional y regional con el fin de optimizar la gestión de los recursos hídricos, pero también es necesario abordar cuestiones relacionadas con el cambio climático y los distintos escenarios de disponibilidad del agua (véase el **Capítulo 5**).

Aunque la creación de presas permite una mayor disponibilidad de agua cuando y donde sea necesaria, la construcción de estos dispositivos ha tenido consecuencias considerables, tanto positivas como negativas, sobre los ecosistemas y los paisajes del Planeta y ha dado lugar a la modificación de las interacciones entre los componentes del ciclo hidrológico. A pesar de los grandes beneficios que proporcionan las presas, sigue presente el debate sobre cómo prevenir y reducir las consecuencias sociales y medioambientales derivadas de la construcción de presas y de la creación de reservorios. En la actualidad, algunas de estas prácticas están cambiando, en parte debido al gran seguimiento por parte de los medios de comunicación y a las actuaciones locales. La construcción de grandes presas se ha ralentizado, al menos por el momento, y se ha logrado avanzar en la reformulación de alternativas y de criterios de diseño. En la actualidad, se ha procedido a dismantlar aquellas presas que ya no prestaban una amplia red de servicios. Por último, se han modificado las operaciones y las estructuras de las presas actuales para permitir la liberación del caudal. Se precisa un equilibrio entre lo que entra y lo que se libera para conseguir la sostenibilidad de los tramos superiores e inferiores de los componentes hidrológicos y de sus ecosistemas asociados. Una vez que se alcanza este equilibrio, los resultados son enormes. En estos casos, existen tanto beneficios añadidos como valor potencial adicional por lo que se refiere al papel de los embalses en los distintos escenarios de desarrollo.

Trasvases de agua entre cuencas

La transferencia de agua de un río o de una cuenca subterránea a otra cuenca es una técnica empleada desde hace mucho tiempo como una forma de satisfacer la demanda de agua, en especial en regiones áridas y semiáridas. Esto suele ocurrir cuando las grandes poblaciones, o más frecuentemente la demanda agrícola, agotan los recursos hídricos existentes. Incluso en fases avanzadas de desarrollo nacional, algunas

cuencas pueden incluso tener un exceso de recursos hídricos, mientras otras sufren de escasez. En muchos países existen sistemas de larga distancia de gran envergadura, a la vez que se desarrollan otros nuevos. Conectar otros ríos de India al sistema formado por los ríos Ganges, Brahmaputra y Meghna es parte de la solución ofrecida para luchar contra las recurrentes sequías e inundaciones. Por ejemplo, Shao et al. (2003) explican la situación de China, donde existen nueve transferencias de gran envergadura y siete más se encuentran en fase de diseño o estudio. Éstos describen una transferencia entre cuencas a gran escala de norte a sur que afectaría a las cuencas de los ríos Yangtsé y Amarillo y que, una vez finalizada, desviaría 450 km³/año. También señalan algunas de las consecuencias de un plan de semejante magnitud. Los estudios multidisciplinares ofrecen una evaluación de la viabilidad y sostenibilidad de los planes de trasvases. La experiencia mundial demuestra que, aunque el trasvase de agua entre cuencas sea una respuesta viable desde un punto de vista hidráulico y técnico, antes de acometer cualquier cambio, se deben tener en cuenta los factores sociales y medioambientales.

4c. Reutilización del agua

Asano y Leavine (2004) enumeraban recientemente los importantes retos que van asociados a la recuperación y reutilización del agua. Éstos ponían de manifiesto que la reutilización del agua es una técnica utilizada en muchos países, incluidos Estados Unidos, México, Alemania, los países del Mediterráneo y de Oriente Medio, Sudáfrica, Australia, Japón, China y Singapur. En este aumento han tenido que ver los modernos procesos de tratamiento de las aguas residuales, que experimentaron un significativo avance durante el siglo XX. Tales procesos permiten en la actualidad eliminar materiales biodegradables, nutrientes y patógenos para que el agua tratada pueda tener así una amplia gama de aplicaciones (**Tabla 4.7**). Actualmente, a escala mundial, la reutilización del agua no potable es la forma más extendida de complementar la aportación destinada a la irrigación, el enfriamiento industrial, el caudal fluvial y otras aplicaciones (Asano, 1998). La reutilización del agua potable ha sido durante siglos una práctica muy extendida. Los asentamientos humanos en el curso bajo de los ríos obtenían agua potable de los ríos y de las aguas subterráneas que habían circulado aguas arriba a través de múltiples ciclos de extracción, tratamiento y descarga (Steenhoven y Endreny, 2004; Asano y Cotruvo, 2004; GW MATE, 2003). San Diego obtiene actualmente el 90% de su suministro municipal de agua de un proveedor mayorista de agua, pero en el futuro esta cifra bajará hasta situarse en un 60% gracias al abastecimiento adicional procedente del agua recuperada y la desalinización (USGS, 2005). Programas similares a éste se están poniendo en marcha en las grandes concentraciones urbanas de todo el mundo, donde las fuentes de abastecimiento de agua dulce son limitadas o no suelen estar disponibles. En este sentido, los lechos de los ríos o los estanques de percolación se han empleado para

recargar de forma artificial con aguas residuales los acuíferos de aguas subterráneas.

En documentos recientes de la OMS (Aertgeerts y Angelakis, 2003) y de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE. UU. (EPA, 2004) se aborda el estado actual y las futuras tendencias en la utilización del agua. Ambas apuntan a un incremento en el perfeccionamiento y en la aplicación de la práctica mencionada anteriormente para aumentar las fuentes de abastecimiento de agua y así satisfacer la demanda existente. Las directrices de la OMS aplicables a la reutilización del agua se publicaron por vez primera en 1995 y se encuentran en fase de actualización, lo que culminará con su publicación en el año 2006 (OMS, 2005). Según algunos estudios sobre la reutilización del agua (Lazarova, 2001; Mantovani et al., 2001), los mejores proyectos de regeneración del agua en términos de viabilidad económica y de aceptación por parte del público son aquéllos que sustituyen el agua potable por agua recuperada en la irrigación, la restauración medioambiental, la limpieza y en usos de saneamiento e industriales.

El volumen total de agua recuperada al año es de unos 2.200 millones de m³, de acuerdo con las cifras de 2000 y 2001 del Banco Mundial. Según recientes hipótesis, se calcula que Israel, Australia y Túnez emplearán agua recuperada para satisfacer el 25%, 11% y 10% respectivamente de su demanda total de agua en los próximos años (Lazarova et al., 2001). Se prevé que Jordania deberá multiplicar al menos por cuatro para 2010 el volumen de agua recuperada para satisfacer su demanda interna. En 2012, España necesitará aumentar en un 150% el consumo de agua recuperada, y en el año 2025 Egipto deberá

multiplicar dicho uso por diez. Algunos países de Oriente Medio están estudiando aumentar significativamente la reutilización del agua para cumplir un objetivo absoluto fijado entre el 50% y 70% de regeneración del volumen total de aguas residuales. Esta tendencia en alza a reutilizar el agua, no sólo se observa en zonas con un déficit hídrico (región mediterránea, Oriente Medio y América Latina), sino también en las regiones de clima templado (Japón, Australia, Canadá, el norte de China, Bélgica, Inglaterra y Alemania). Este método para aumentar las fuentes naturales de suministro de agua se está convirtiendo en un elemento fundamental en muchos planes de gestión de los recursos hídricos y en las políticas de consumo del futuro.

4d. Gestión de la demanda

La conservación del agua existente y la reducción de la demanda son medidas necesarias en regiones con escasez de agua, especialmente en aquéllas de clima árido. Los programas de conservación y de reducción de la demanda se conocen como Gestión de la Demanda de Agua (GDA). Este principio difiere del método tradicional de suministro, que considera como disponible toda el agua existente. La GDA aplica incentivos económicos escogidos para promover el uso justo y eficiente del agua. También identifica las medidas de conservación de agua más idóneas para que la sociedad tome conciencia de la escasez y de la naturaleza finita de este recurso.

Las medidas de conservación no se han puesto en práctica de buen grado, en especial en aquellos lugares donde el agua se percibe como un recurso todavía abundante. Sin embargo, los beneficios de la prolongación de la vida útil de la red de suministro de agua y de las plantas de tratamiento, y una mayor eficiencia operativa y durabilidad de los sistemas de

En las regiones interiores, o donde la desalinización resulta muy costosa, el agua recuperada puede contribuir de forma significativa al abastecimiento global de agua usada para la irrigación o en la industria...

Tabla 4.7: Potenciales aplicaciones del agua recuperada

Características de la aplicación	Ejemplos
Uso urbano	
Sin restricciones	Riego del paisaje (parques, terrenos de juego, jardines escolares), protección antiincendios, construcción, fuentes ornamentales, embalses recreativos, usos constructivos (aseos, aire acondicionado)
Irrigación restringida	Riego de zonas poco frecuentadas o de acceso público controlado (campos de golf, cementerios, zonas residenciales, zonas verdes)
Riego agrícola	
Cultivos alimentarios	Cultivos destinados para el consumo humano y consumidos crudos
Cultivos no alimentarios, cultivo de alimentos que deben ser transformados para su consumo	Forraje, fibra, cultivo de semillas, pastos, viveros comerciales, césped, acuicultura comercial
Uso lúdico	
Sin restricciones	Sin limitaciones para la práctica de actividades en que el agua está en contacto directo con el cuerpo (lagos y estanques para practicar natación, nieve artificial)
Restringido	Pesca, remo y otras actividades lúdicas sin contacto directo con el cuerpo
Uso medioambiental	Humedales artificiales, mejora de los humedales naturales y sostenibilidad de los caudales fluviales
Recarga de aguas subterráneas	Alimentación de las aguas subterráneas, control de la intrusión del agua de mar y control del descenso del nivel del terreno
Reutilización industrial	Agua de los conductos de los sistemas de refrigeración, aguas de procesamiento, alimentación de calderas, actividades de construcción y aguas de lavado
Reutilización para agua potable	Mezclada con el suministro municipal de agua (aguas superficiales o subterráneas)

Fuente: Asano y Leavine (2004).

Un nuevo e interesante concepto propone combinar el agua desalinizada con la almacenada y recuperada en acuíferos...

alcantarillado pueden ser considerables en términos de mayores ganancias económicas en proporción a la inversión realizada. En el aspecto medioambiental, la conservación tiene en cuenta la desviación de volúmenes no utilizados para contribuir a la sostenibilidad de los ecosistemas y también reduce los niveles de contaminación en lagos, ríos y aguas subterráneas. Esto conduce a una mayor protección del agua potable y a un equilibrio ecológico global (Environment Canada, 2005b).

La GDA apuesta por una serie de medidas que no se refieren solamente a la conservación, sino que además defienden una gestión sostenible más amplia de los recursos. Ello implica la protección de las fuentes de agua de calidad; la reducción del derroche, tanto debido a deficiencias infraestructurales como a los usuarios; una mejora de la distribución del agua entre los diversos usos en competencia; y la creación de unos mecanismos apropiados de fijación de precios. El "agua no servida" es un ejemplo de una situación donde son necesarias las medidas de conservación, resultado comúnmente aceptado del suministro de agua mediante sistemas de distribución por tuberías. Las fugas de agua por culpa del mal estado de las tuberías suponen un agua "no contabilizada", que tiene como resultado un déficit físico y una reducción ganancial. Por lo que se refiere a la ineficiencia de los recursos y las operaciones, las pérdidas suelen situarse en torno al 40%, llegando al 60% ó 70% en algunas ciudades importantes. El problema del desaprovechamiento de los recursos hídricos, a pesar de ser endémico en la mayoría de las instalaciones, tiene un impacto mucho mayor en la sociedad.

El uso racional del agua en el hogar puede mejorar su conservación una vez entregada. La reducción del consumo de agua en una comunidad tras la aplicación de medidas de conservación puede llegar a ser de hasta un 40%. Estas dos situaciones ilustran hasta qué punto el agua que se suministra actualmente puede no ser en realidad necesaria. Mediante la reducción de las fugas y de la demanda se puede obtener una reducción sustancial del volumen de las fuentes de suministro. Éste debería ser un mensaje claro en los escenarios de desarrollo. La gestión de la demanda de agua quizás obvia la necesidad de realizar algunas de las inversiones propuestas en infraestructuras físicas a gran escala que reportarían beneficios reales en términos de eficiencia para la sociedad (GWP, 2005a).

4e. Desalinización

La desalinización es una técnica empleada principalmente en zonas costeras áridas con un déficit de agua, o bien en zonas de interior semiáridas donde las aguas subterráneas salobres o salinas son la única fuente de abastecimiento. Esta técnica se ha ido consolidando desde mediados del siglo XX, y ha evolucionado de manera sustancial para satisfacer la creciente demanda de las zonas con escasez de agua. Awerbuch (2004) y Schiffler (2004) facilitan información acerca de la aplicación mundial de la capacidad de desalinización, así como de los avances y retos más recientes en este campo. Según las últimas estadísticas de 2002 de la Asociación Internacional de

Desalinización (AID)⁷, cerca del 50% de la desalinización a nivel mundial tiene lugar en Oriente Medio, seguido de Norteamérica (16%), Europa (13%), Asia (11%), África (5%) y el Caribe (3%). Sudamérica y Australia representan individualmente un 1% del volumen total de la desalinización. A nivel mundial, la capacidad contratada de las plantas desalinizadoras es de 34,2 millones de m³/día, y principalmente se transforma agua de mar (59%) y aguas salobres (23%). Los municipios son los mayores usuarios de agua desalinizada (63%), seguidos de las industrias (25%). Los costes de producción del agua desalinizada han bajado drásticamente en las dos últimas décadas. Las grandes plantas de reciente construcción producen agua dulce a 0,45-0,5 USD/m³ por el proceso de ósmosis inversa (OI) y a 0,70-1 USD/m³ mediante sistemas de destilación. El consumo de energía empleada para realizar la transformación supone una parte importante del coste y varía entre 4 y 15 kWh/m³, dependiendo de factores como las técnicas empleadas, la capacidad de producción de la planta y la calidad del equipamiento (NRC, 2004).

Gran parte de esta transformación probablemente seguirá dependiendo en gran medida de los combustibles fósiles, con la consiguiente contaminación del aire que ello supone. Qué hacer con los residuos de salmuera, un subproducto de la desalinización, sigue siendo una incógnita. Hoy en día éstos se vierten directamente en los océanos o en las aguas superficiales, se trasladan a plantas de tratamiento de residuos, se someten a operaciones de inyección profunda a la tierra, o bien se someten a evaporación en salinas. Cada uno de estos procesos tiene unas consecuencias potencialmente adversas para el medio ambiente. El coste de la eliminación de este tipo de concentrados a menudo limita su aplicación en zonas interiores. Schiffler (2004) recomienda el establecimiento de una metodología internacional de evaluación medioambiental aplicable a las plantas desalinizadoras para poder comparar el impacto que producen las diferentes instalaciones.

Se están descubriendo nuevas aplicaciones para la desalinización y la AID espera que, debido al crecimiento de la demanda y a la reconversión del proceso, ésta se siga empleando en las zonas costeras para satisfacer en parte las demandas de ocio y turismo, de protección del medio ambiente, las necesidades militares y las de la agricultura de regadío. Un nuevo e interesante concepto propone combinar el agua desalinizada con el almacenamiento y la recuperación de los acuíferos (DASR) (Awerbuch, 2004; Pyne y Howard, 2004). Este método tiene la ventaja de que permite el almacenamiento y la recuperación de un gran volumen de agua a la vez que reduce al mínimo la necesidad de instalaciones, con unos costes operativos mucho menores. Se podrían emplear los volúmenes almacenados para satisfacer las demandas de agua diarias o durante los picos estacionales, a la vez que se mantiene una tasa estable de desalinización.

7. Consultar la página web www.idadesal.org para mayor información.

4f. Evaluación de los Recursos Hídricos (ERH)

Los planes de evaluación de los recursos hídricos (ERH) se diseñan con el fin de analizar las fuentes de abastecimiento de agua desde la perspectiva de su consumo potencial. Desde las conclusiones de Río 92 y en especial de Dublín 2000, los recursos hídricos han ido gozando de una mayor atención en la esfera de la equidad social, la economía, el ecosistema y la ecohidrología. El proceso de ERH puede adaptarse y actualizarse para incluir estas relaciones (GWP, 2005b).

Los datos hidrológicos y los sistemas y redes de información ofrecen una aportación fundamental a la ERH si la evaluación se lleva a cabo desde la perspectiva de la GIRH (Gestión Integrada de los Recursos Hídricos) a nivel nacional o de cuenca/subcuenca/acuífero, o bien siguiendo otro enfoque. Los factores que pueden influir en la fiabilidad de los datos hidrológicos que manejan las ERH incluyen: el número de estaciones hidrométricas, su distribución dentro de las regiones fisiográficas, duración y continuidad de las observaciones, calidad de las mediciones y procesamiento de los datos. Generalmente, los parámetros que se miden incluyen precipitaciones, evaporación, humedad del suelo, nivel y descarga de los ríos, profundidad de las aguas subterráneas (pozos), sedimentos y datos sobre la calidad del agua con una periodicidad horaria, diaria o mensual.

No obstante, la exactitud y la disponibilidad de datos ha descendido bruscamente desde mediados de la década de los 80, especialmente en África y en Europa del Este (Rodda, 1998), y esta situación no ha cambiado demasiado desde que empezó el nuevo siglo. También las inversiones realizadas en redes nacionales han disminuido drásticamente y siguen decreciendo. Las redes hidrométricas, a pesar de sus elevados

costes de mantenimiento, aportan una serie de datos que resultan fundamental para la ERH, y que no podrían ser recogidos de ninguna otra forma (véase el **Capítulo 13**).

El desarrollo de métodos más descentralizados de ERH y diseñados en función del tipo de cuenca es inherente a los principios acordados internacionalmente de GIRH. Es de sobra conocido que tendrán que pasar varias décadas de ajuste institucional (Blomquist et al., 2005) para reorientar las prácticas de gestión del agua hacia las cuencas. No obstante, estos cambios comienzan por las cuencas y existen ejemplos de métodos descentralizados de gestión del agua en la mayor parte de los continentes. Uno de los elementos importantes de la misión del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) es el de prestar su ayuda a los países asociados en el estudio de casos con el fin de que éstos puedan desarrollar sus propias capacidades de evaluación (véase el **Capítulo 14**). Las cuestiones de soberanía y competencia siempre serán factores inherentes de la gestión del recurso. Sin embargo, el ámbito básico de la ERH, que se define en líneas generales como la disponibilidad de agua en cantidad y en calidad, incluyendo aspectos relacionados con el medio ambiente, la contaminación y el consumo de agua, es la base para una gestión eficaz. Esta información puede ser recopilada y desarrollada conjuntamente por todos los países que compartan este recurso (véase el **Capítulo 11**). De esta forma, se harían grandes progresos, no sólo en las áreas de tecnología aplicada al agua, sino también en la forma de mejorar los resultados, la información y la evaluación de los recursos hídricos, lo cual proporcionaría una información muy valiosa que beneficiaría en gran medida a la sociedad, a los medios de sustento y al medio ambiente.

Los países en vías de desarrollo, donde la demanda de agua crece más rápido que en ningún otro sitio, tienen los peores medios para recopilar y gestionar los datos sobre el agua

5ª Parte. El reto del desarrollo sostenible

El cambio climático y la variabilidad hidrológica de la distribución y existencia de agua son las fuerzas motrices naturales que, unidas a las presiones ejercidas por el crecimiento económico y a importantes cambios poblacionales, hacen que el desarrollo sostenible de nuestros recursos hídricos suponga todo un reto.



5a. Fuerzas motrices y presiones

La combinación de estos factores generalmente tiene como resultado un incremento del consumo de agua, de la competencia y de la contaminación, a ello se suman prácticas de abastecimiento de agua muy ineficientes. Estos resultados tienen su origen en el hecho de que la mayoría de las decisiones adoptadas en el contexto de la gestión de los recursos hídricos a casi todos los niveles están motivadas por consideraciones económicas y políticas a corto plazo, que carecen de la visión a largo plazo necesaria para impulsar el desarrollo sostenible. Todos los

planes de gestión del agua deberían tener en cuenta los procedimientos más adecuados y los avances científicos más recientes. La comunidad científica debe comunicar sus recomendaciones a los responsables de formular políticas de forma más efectiva, para que estos últimos desarrollen y mantengan criterios y soluciones integradas y multidisciplinarias. La sociedad debe tomar conciencia de que los planes hidráulicos del siglo pasado ya no sirven para solucionar los actuales retos asociados al agua. Se requiere mayor financiación y recursos para obtener datos e información detallados sobre el agua.

En general, existen motivos para tener esperanzas, pues están emergiendo nuevos programas sobre agua que por fin ponen de relieve la importancia de llevar a cabo prácticas más sostenibles para reducir los impactos

5b. Estado de nuestros recursos hídricos naturales

Con frecuencia, las funciones e interdependencias de los diversos componentes del ciclo hidrológico no se aprecian en su totalidad, lo que hace difícil diseñar estrategias adecuadas de protección y prevención.

A la hora de diseñar planes de gestión del agua se deberían tener en cuenta todos los componentes del ciclo hidrológico. Cada componente tiene un papel específico que debe ser mejor entendido. Por ejemplo, la lluvia y la nieve abastecen directamente a los ecosistemas terrestres, y la humedad del suelo es una fuente única de agua para el desarrollo agrícola de los ecosistemas terrestres. Además, el derretimiento de los glaciares influye decisivamente en el abastecimiento de agua de muchos países y, por ello, se hacen necesarias evaluaciones globales más exhaustivas.

La variabilidad anual de la escorrentía superficial puede predecirse con bastante exactitud, por lo que ya se han ideado soluciones destinadas a contrarrestarla. En cambio, predecir los ciclos globales de mayor o menor escorrentía que se suceden indistintamente cada cinco o diez años sigue constituyendo un auténtico reto. Las aguas subterráneas podrían realizar una contribución muy valiosa a la hora de luchar contra la variabilidad climática y satisfacer la demanda durante periodos de sequía prolongados. El exceso de escorrentía de las aguas superficiales durante la estación húmeda podría emplearse para recargar los sistemas de acuíferos.

Sin embargo, no disponemos de suficientes datos sobre las aguas subterráneas ni sobre los sistemas de acuíferos, en particular en los países en vías de desarrollo, donde la ausencia de recursos hídricos superficiales es extrema. Esto ocurre sobre todo en Asia y en África, donde el número de programas de seguimiento del agua ha disminuido drásticamente.

En la mayoría de los países en vías de desarrollo, los programas de seguimiento de la calidad del agua son inadecuados o incluso inexistentes, por lo que resulta difícil salvaguardar la salud humana. A pesar de haber transcurrido dos décadas de gran atención y preocupación por parte de la comunidad científica internacional, los intentos por recoger, compilar y adquirir nuevos conocimientos sobre el consumo, la contaminación y los datos de extracción e información a escala mundial son escasos y aún se encuentran en las etapas preliminares de su puesta en marcha.

5c. Consecuencias

Un agua de mala calidad y unos abastecimientos insostenibles limitan el desarrollo económico nacional y pueden degradar las condiciones de salud y subsistencia.

Las modificaciones del paisaje complican aún más nuestro conocimiento y nuestra capacidad de predecir las consecuencias sobre los recursos hídricos, pues estos cambios

perturban el funcionamiento natural de los recursos hidrológicos y de los ecosistemas. Éste es un factor importante a la hora de profundizar en el conocimiento de las futuras consecuencias del cambio climático a escala local y regional. Sabemos que resulta problemático realizar previsiones detalladas acerca de las consecuencias del cambio climático sobre los recursos hídricos a una escala regional o mundial debido a la existencia de datos sobre el agua inadecuados.

Hemos alcanzado un nivel razonable de conocimiento de las consecuencias sobre la calidad y la cantidad de agua debidas a la contaminación y la excesiva extracción de aguas superficiales y subterráneas. Reducir estas consecuencias debe ser ahora el objetivo. En la mayoría de los países en vías de desarrollo, deberían financiarse programas específicos y con unos objetivos claros para poder reducir el impacto sobre la cantidad y la calidad del agua.

En general, existen motivos para tener esperanzas, pues están emergiendo nuevos programas sobre agua que por fin ponen de relieve la importancia de llevar a cabo prácticas más sostenibles para reducir los impactos.

5d. Respuestas

Las estrategias de prevención y las nuevas tecnologías que incrementan los recursos hídricos naturales existentes, reducen la demanda y logran una mayor eficiencia, forman parte de la respuesta para satisfacer la creciente demanda que pesa en la actualidad sobre los recursos hídricos disponibles.

Para poder satisfacer la demanda presente y futura de agua se debe prestar más atención a los métodos preventivos, por ejemplo, la innovación en el uso de las fuentes naturales de abastecimiento y las nuevas tecnologías. En el pasado, nuestra reacción solía ser almacenar la escorrentía en embalses, desviar los cauces desde regiones con abundante agua hasta otras que sufrían de escasez y extraer los recursos de los acuíferos. Estos métodos proporcionaban agua más que suficiente donde y cuando era necesario. Es probable que estos métodos sigan formando parte de la mayoría de las estrategias de desarrollo de los recursos hídricos. Sin embargo, cada vez se emplean más recursos hídricos no convencionales, como los provenientes de la reutilización del agua y la desalinización, y también se está extendiendo el uso de nuevas tecnologías, como la recarga artificial. La captación de la lluvia en su origen mediante la recogida del agua de lluvia es otro de los métodos que también contribuyen a aumentar el número de fuentes naturales de abastecimiento de agua. En algunas regiones la respuesta ha sido extrema. En algunos países de clima árido, donde no existen suficientes recursos hídricos renovables, se está llevando a cabo la explotación de las reservas de aguas subterráneas no renovables con el fin de sostener el desarrollo.

La gestión de la demanda y la conservación son métodos que tienen como objetivo la eficiencia. La conservación comienza

por la reducción de las grandes pérdidas que se registran en las redes de abastecimiento de agua. La gestión de la demanda no ha sido abordada en mucho tiempo, debido a que, para la mayoría de los servicios hídricos, el desarrollo de infraestructuras es todavía más importante que la conservación.

Resulta interesante señalar que las industrias han optado en los últimos años por disminuir la generación de aguas residuales y reducir al mínimo su consumo de agua procesada, pues este método ha demostrado ser técnicamente factible y ventajoso económicamente. La reducción de la demanda y el principio de eficiencia deberían ser parte integral de la moderna gestión de los recursos hídricos. Debería promoverse su aplicabilidad, reconociendo que se requiere un claro cambio en los patrones de comportamiento de las instituciones, las empresas de servicios públicos y las personas. Un cambio que, para poder producirse de forma efectiva, necesitaría ir acompañado de educación, toma de conciencia y compromiso político.

También es necesaria la respuesta institucional a distintos niveles. Algunos países han introducido nuevas leyes y regulaciones que indican el camino correcto hacia la protección y restauración de nuestros recursos hídricos. Los países están adaptando las nuevas técnicas para asegurar y proteger sus recursos hídricos y aplican los conocimientos locales como parte del desarrollo sostenible de los recursos.

5e. Beneficios

La realización regular de Evaluaciones de los Recursos Hídricos (ERH) en todas las cuencas y acuíferos en cada país y región donde existan recursos hídricos transfronterizos compartidos reportará beneficios económicos, sociales y medioambientales.

Están surgiendo rápidamente modernos enfoques de la ERH que van mucho más allá de los tradicionales análisis

hídricos centrados en el suministro que se llevaron a cabo durante el siglo pasado. Las ERH se han ampliado con el fin de poder sacar provecho de los beneficios descubiertos recientemente derivados de la aplicación de un principio de gestión integrada (GIRH) que incluye los servicios que proporcionan los ecosistemas (enfoque ecosistémico). La ERH sigue necesitando datos bien documentados sobre los componentes del ciclo hidrológico. Sin estos datos, los resultados de la evaluación no son fiables. Para poder tener un carácter integral y contribuir al desarrollo de prácticas sostenibles, la ERH debería incluir datos bien documentados sobre el consumo de los usuarios y las demandas de calidad de agua por parte de éstos, datos precisos sobre el uso, estimaciones de los volúmenes de caudal ecológico necesario para mantener la capacidad de recuperación del ecosistema, caracterización de las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación y de la calidad de las aguas receptoras, y un amplio compromiso por parte de todos los usuarios del agua y demás partes interesadas.

La política de incentivos para aumentar la eficacia de la gestión de la demanda ha resultado ser realmente efectiva a la hora de aumentar las fuentes naturales de abastecimiento de agua. La ERH debería tener en cuenta las nuevas capacidades de uso de fuentes de abastecimiento de agua no convencionales y las nuevas tecnologías para aumentar las fuentes de abastecimiento existentes. Una ERH exhaustiva también debe considerar aspectos sociales y económicos, así como las necesidades y contribuciones del ecosistema.

Si el cambio climático sigue los escenarios proyectados, se observará un clima más errático en el futuro, lo que supondrá una mayor variabilidad en las precipitaciones y amenazará las cosechas de países desarrollados y en vías de desarrollo, a la vez que someterá a más de 2.800 millones de personas a un riesgo de escasez de agua. Comprender todos los aspectos del ciclo hidrológico es crucial si nuestra sociedad pretende afrontar los cambios observados.

Muchos países están adaptando las nuevas técnicas para asegurar y proteger sus recursos hídricos naturales y aplican los conocimientos locales como parte del desarrollo sostenible de sus recursos



Bibliografía y páginas web

- Abderrahman, W. A. 2003. Should intensive use of non renewable groundwater resources always be rejected? R. Llamas, E. Custodio (eds.). *Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities*. Lisse, Países Bajos, Balkema.
- Aertgeerts, R., Angelakis, A. 2003. *Health Risks in Aquifer Recharge using Reclaimed Wastewater: State of the Art Report*, SDE/WSH/03.08. www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wsh0308/en/index.html
- AFP (L'Agence France-Presse). 2004. China warns of 'ecological catastrophe' from Tibet's melting glaciers, Nota de prensa. *Terradaily*.
- Aggarwal, P. K., Kulkarni, K. M. 2003. *Isotope Techniques in Hydrology: Role of International Atomic Energy Agency*, Advances in Hydrology (Proc. Int. Conf. Water and Environment 2003, Bhopal, India), Nueva Delhi, Allied Publishers Pvt. Ltd. pp. 361-69.
- Aggarwal, P. K., Froehlich, K., Kulkarni, K. M., Gourcy, L. L. 2004. *Stable Isotope Evidence for Moisture Sources in Asian Summer Monsoon under Present and Past Climate Regimes*. *Geo. Res. Letters*, Vol. 31.
- Arendt, A. A., Echelmeyer, K. A., Harrison, W. D., Lingle, C. S., Valentine, V. B. 2002. Rapid wastage of Alaska glaciers and their contribution to rising sea level, *Science*, Vol. 297, No. 5580, pp. 382-86.
- Arnell, N. W. 2004. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios, *Global Environmental Change*, Vol. 14, No. 1, pp. 31-52.
- Asano, T. (ed.). 1998. *Wastewater Reclamation and Reuse, Water Quality Management Library Volume 10*. Boca Raton, Florida, CRC Press.
- Asano, T., Cotruvo, J. A. 2004. A Review: Groundwater Recharge with Reclaimed Municipal Wastewater: Health and Regulatory Considerations, *Water Research*, Vol. 38, pp. 1941-51. www.med-reunet.com/docs/asano.pdf
- Asano, T. y Levine, A. D. 2004. Recovering sustainable water from wastewater. *Environmental Science and Technology*, junio, pp. 201-08.
- Awerbuch, L. 2004. Status of desalination in today's world. S.Nicklin (ed.). *Desalination and Water Re-use*. Leicester, Reino Unido, Wyndeham Press, pp. 9-12.
- Banco Mundial. 2005. *India's Hydrology Project Phase II*. web.worldbank.org/external/projects/main?pagePK=104231&piPK=73230&theSitePK=40941&menuPK=228424&Projectid=P084632
- Bashkin, V., Radojevic, M. 2001. A Rain Check on Asia. *Chemistry in Britain*, No. 6. Versión en línea en: www.chemsoc.org/chembytes/ezine/2001/bashkin_jun01.htm
- Bergkamp, G., Orlando, B., Burton, I. 2003. *Change: Adaptation of water resources management to climate change*. Gland, Suiza, UICN.
- Bhattacharya, S. K., Froehlich, K., Aggarwal, P. K., Kulkarni, K. M. 2003. Isotopic Variation in Indian Monsoon Precipitation. Records from Bombay and New Delhi, *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, No. 24, p. 2285.
- Blomquist, W., Dinar, A., Kemper, K. 2005. Comparison of Institutional Arrangements for River Basin Management in Eight Basins. Documento de trabajo 3636 del Departamento de Investigación de Políticas del Banco Mundial, junio 2005 wdsbeta.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/2005/06/14/000016406_20050614124517/Rendered/PDF/wps3636.pdf
- Bullock, A., Acreman, M. 2003. The role of wetlands in the hydrologic cycle. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 7, No. 3, pp. 358-89.
- Burke, J., Moench, M. 2000. *Groundwater and Society: Resources, Tensions and Opportunities*. Nueva York, ONU-DAES (Departamento de la ONU de Asuntos Económicos y Sociales) E.99.II.A.1.
- Centro de Mitigación de la Sequía de EE. UU. 2005. *Mapa de sequías - Abril de 2004*. www.drought.unl.edu/pubs/abtdrmon.pdf
- CE (Comisión Europea). 2003. Propuesta de directiva del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la protección de las aguas subterráneas de la contaminación. europa.eu.int/eurlex/en/com/pdf/2003/com2003_0550en01.pdf
- . 2000. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, Bruselas. europa.eu.int/comm/environment/water/water-framework/index_en.html
- CMDE (Centro Mundial de Datos sobre Escorrentía). 2005. grdc.bafg.de/servlet/is/1660/, grdc.bafg.de/servlet/is/943/
- CSIRO. 2004. Returning the lifeblood to rivers. A drought experiment - environmental flows resurrect irrigation country. How healthy river habitats suffer from altered flows. Clever planning and management approaches. Where wild things are dammed, *ECOS magazine*, número 122, pp. 11-19, CSIRO Publishing. www.publish.csiro.au/ecos/index.cfm?sid=10&issue_id=4847
- Daughton, C. G. 2004. Non-regulated water contaminants: emerging research, *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 24, pp. 711-32.
- Digout, D. 2002. *Variations in River Runoff by Continent through Most of the 20th Century - Deviations from Average Values*. (PNUMA, basado en material de referencia de Shiklomanov (1999) y la UNESCO 1999 en www.unep.org/vitalwater/07.htm)
- Driscoll, C. T., Lawrence, G. B., Bulger, A. J., Butler, T. J., Cronan, C. S., Eagar, C., Lambert, K. F., Likens, G. E., Stoddard, J. L., Weathers, K. C. 2001. *Acid Rain Revisited: Advances in scientific understanding since the passage of the 1970 and 1990 Clean Air Act Amendments*, Hubbard Brook Research Foundation. Science Links Publication, Vol. 1, No. 1. www.hbrook.sr.unh.edu/hbfound/report.pdf
- Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J. (eds.) 2003. *Flow: The Essentials of Environmental Flows*. Gland (Suiza) y Cambridge (Reino Unido), UICN.
- Dyrgerov, M. 2003. Mountain and subpolar glaciers show an increase in sensitivity to climate warming and intensification of the water cycle, *Journal of Hydrology*, Vol. 282, pp. 164-76.
- Entekhabi, D., Njoku, E. G., Houser, P., Spencer, M., Doiron, T., Kim, Y., Smith, J., Girard, R., Belair, S., Crow, W., Jackson, T. J., Kerr, Y.H., Kimball, J. S., Koster, R., McDonald, K. C. O'Neill, P. E., Pultz, T., Running, S. W., Shi, J., Wood, E., van Zyl, J. 2004. The Hydrosphere State (Hydros) Satellite Mission: An Earth System Pathfinder for Global Mapping of Soil Moisture and Land Freeze/Thaw. *IEEE Trans. Geoscience And Remote Sensing*, Vol. 42, No. 10, pp.2184-95. hydros.gsfc.nasa.gov/pdf/TGARSHydros.pdf
- Environment Canada. 2005a. *Water - The Transporter* www.atl.ec.gc.ca/udo/mem.html
- . 2005b. *The Bottom Line - Water Conservation*. www.ec.gc.ca/water/en/manage/effic_e_bottom.html
- . 2005b. *Acid Rain* www.ec.gc.ca/acidrain/
- EPA (Organización de los EE. UU. para la Protección del Medio ambiente). 2004. *Guidelines for Water Reuse*, EPA 625/R-04/108. www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/625r04108/625r04108.htm lv0ct05)
- Falkenmark, M., Rockström, J. 2004. *Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology*, Reino Unido, Earthscan
- FAO. 2002. *Agricultura mundial: hacia el 2015-2030. Resumen del informe*. FAO (Roma) disponible en: www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/004/y3557e/y3557e11.htm
- . 2005. Base de datos georreferenciados sobre las presas en África. www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/damsafrica
- . 2004. Comunicación personal de la FAO con un archivo de datos sobre volúmenes nacionales de los tramos inferiores, 6 de septiembre de 2004, facilitado por el personal del AQUASTAT de la FAO (Roma). (completado el 18 de agosto de 2005 con datos limitados sobre las aguas subterráneas).
- . 2003a. *Estudio de los recursos hídricos por países*. *Water Report 23*. [ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr23e.pdf](http://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr23e.pdf)
- . 2003b. *Groundwater Management: The Search for Practical Approaches*, FAO *Water report 25*. [ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr25e.pdf](http://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr25e.pdf)
- FAO-Aquastat. 2005. www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/main/ Ratio de renovación de las aguas subterráneas respecto de las aguas superficiales calculado a partir del volumen total anual de las aguas subterráneas y de los volúmenes internos de aguas superficiales, base de datos Aquastat.
- Figueras, C., Tortajada, C. y Rockstrom, J. 2003. *Rethinking Water Management*. Earthscan, Reino Unido.

- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. y Paris, M. 2002. *Groundwater Quality Protection – a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies*. GW MATE en colaboración con GWP, 112 p. (DOI: 10.1596/0-8213-4951-1) www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2002/12/14/000094946_02112704014826/Rend/ered/PDF/multi0page.pdf
- Foster, S. y Kemper, K. 2004. *Sustainable Groundwater Management: Concepts and Tools*, Banco Mundial GW MATE Serie de notas informativas (listado de las quince notas informativas). siteresources.worldbank.org/INTWRD/903930-1112347717990/20424234/BN_series_profileMay04.pdf
- Fountain, A. y Walder, J. 1998. Water Flow through Temperate Glaciers, *Review of Geophysics*, Vol. 36, No. 3, pp. 299–328.
- Frauenfelder, R., Zemp, M., Haeberli, W. y Hoelzle, M. 2005. World-Wide Glacier Mass Balance Measurements: Trends and First Results of an Extraordinary Year in Central Europe, *Ice and Climate News*, No. 6, pp. 9–10. clic.npolar.no/newsletters/archive/ice_climate_2005_08_no_06.pdf
- GEMS/AGUA. 2005. Informe anual 2004 y de situación de la Red Mundial del Programa GEMS/Agua del PNUMA. www.gemswater.org/common/pdfs/gems_ar_2004.pdf
- Gleick, P. H. (ed.). 1993. *Water in Crisis: A Guide to the World's Freshwater Resources*. Nueva York, Oxford University Press.
- GLIMS (Mediciones del hielo terrestre mundial desde el espacio). 2005. *Project Description: Global Land Ice Measurements from Space*. nsidc.org/data/glims/
- Gob. Sudáfrica. 1997. White Paper on Water Policy (Section B: New National Water Policy) CH 5. Water Resource Policy, Subchapter 5.2 Priorities – The Basic Needs and Environmental Reserve and International Obligations. www.polity.org.za/html/govdocs/white_papers/water.html#Contents
- Gob. Australia occidental 2005. portal.environment.wa.gov.au/portal/page?_pageid=55,34436&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Greenhalgh, S. y Sauer, A., 2003. *Awakening the Dead Zone: An Investment for Agriculture, Water Quality, and Climate Change*, WRI Issue Brief. pdf.wri.org/hypoxia.pdf
- GWP. 2005a. *Efficiency in Water Use – Managing Demand and Supply*. gwpforum.netmasters05.netmasters.nl/en/content/oolcategory_453AAC8B-A128-11D5-8F08-0002A508D0B7.html
- . 2005b. *Water Resources Assessment – Understanding Water Resources and Needs*. gwpforum.netmasters05.netmasters.nl/en/content/oolcategory_5E1CD3DC-3B4A-4D82-B476-82DEF0E0186.html
- GW MATE. 2003. Recarga del agua subterránea con aguas residuales urbanas: Evaluación y manejo de los riesgos y beneficios, Gestión sostenible del agua subterránea: Conceptos y herramientas, Banco Mundial GW MATE Serie de notas informativas 12. siteresources.worldbank.org/INTWRD/903930-1112347717990/20424258/BN_series_profileMay04.pdf
- Haider, S. S., Said, S., Kothiyari, U. C. y Arora, M. K. 2004. Soil Moisture Estimation Using Ers 2 Sar Data: A Case Study in the Solani River Catchment. *Journal of Hydrological Science*, pp. 323–34. www.extenzaeps.com/extenza/loadPDF?objectIDValue=34832
- Hock, R., Jansson, P. y Braun, L. 2005. Modelling the Response of Mountain Glacier Discharge to Climate Warming. U. M. Huber, H. K. M. Bugmann y M. A. Reasoner (eds.), *Global Change and Mountain Regions – An Overview of Current Knowledge*. Series: Advances in Global Change Research. Vol. 23, Springer.
- IGRAC. 2005. Base de datos mundial sobre las aguas subterráneas. igrac.nitg.tno.nl/ggis_map/start.html
- . 2005a. Arsénico en las aguas subterráneas alrededor del mundo igrac.nitg.tno.nl/ggis_map/start.html
- . 2005b. Flúor en las aguas subterráneas alrededor del mundo igrac.nitg.tno.nl/ggis_map/start.html
- . 2004. Regiones de aguas subterráneas a nivel global igrac.nitg.tno.nl/ggis_map/start.html
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). 2004. *Expert Meeting on the Science to Address UNFCCC Article 2 including Key Vulnerabilities*, Buenos Aires, Argentina 18-20 mayo 2004, breve informe. www.ipcc.ch/wg2sr.pdf
- . 2001. *Third Assessment Report: Climate Change 2001*. www.ipcc.ch/wg2sr.pdf
- IRHA (Asociación Internacional para la Recogida del Agua de Lluvia) 2004. *How RHW benefits water resources management (no publicado)* www.irha-h2o.org
- Jackson, T. 2004. How Wet's Our Planet? Scientists want to be able to measure soil moisture everywhere, every day! *Agric. Res.* Vol. 52, No. 3, pp. 20–22 www.ars.usda.gov/is/AR/archive/mar04/planet0304.htm?pf=1
- Jansson, P., Hock, R. y Schneider, T. 2003. *The Concept of Glacier Storage – A Review*. *Journal of Hydrology*, Vol. 282, Nos. 1–4, pp. 116–29.
- Jousma, G. y Roelofsen, F. J. 2003. *Inventory of existing guidelines and protocols for groundwater assessment and monitoring*, IGRAC igrac.nitg.tno.nl/pics/inv_report1.pdf
- Laknet. 2005. www.worldlakes.org
- Lazarova, L. 2001. *Recycled Water: Technical-Economic Challenges for its Integration as a Sustainable Alternative Resource*. Proc. UNESCO Int'l. Symp. *Les frontières de la gestion de l'eau urbaine: impasse ou espoir?* Marsella, 18–20 junio 2001.
- Lazarova, V., Levine, B., Sack, J., Cirelli, C., Jeffrey, P., Muntau, H., Salgot, M. y Brissaud, F. 2001. Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. *Water Science and Technology*, Vol. 43, No. 10, pp. 23–33.
- Lehner, B. y P. Döll. 2004. Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology*, Vol. 296, Nos. 1–4, pp. 1–22.
- Lenton, R. 2004. Water and climate variability: development impacts and coping strategies, *Water Science and Technology*, Vol. 49, No. 7, pp. 17–24.
- Llamas, R. y Custodio, E. (eds.). 2003. *Intensive use of groundwater, Challenges and Opportunities*. Balkema.
- Mahnot, S. C., Sharma, D. C., Mishra, A., Singh, P. K. y Roy, K. K. 2003. *Water Harvesting Management*, Practical Guide Series 6, V. Kaul (ed.). SDC/Intercooperation Coordination Unit. Jaipur, India.
- Mantovani, P., Asano, T., Chang, A. y Okun, D. A. 2001. *Management Practices for Non-potable Water Reuse*. Water Environment Research Foundation Report 97-IRM-6.
- Meybeck, M. 1995. Global distribution of lakes. A. Lerman, D. M. Imboden y J. R. Gat (eds). *Physics and Chemistry of Lakes*, Springer, Berlin, pp. 1–36.
- Meybeck, M., Chapman, D. y Helmer, R. (eds). 1989. *Global Freshwater Quality: A First Assessment*. Blackwell Ref. Oxford, Reino Unido.
- Mitchell, T. D., Hulme, M. y New, M. 2002. *Climate Data for Political Areas*. Area, Vol. 34, pp. 109–12. www.cru.uea.ac.uk/cru/data/papers/mitchell-2002a.pdf
- Morris, B. L., Lawrence, A. R. L., Chilton, P. J. C., Adams, B., Calow, R. C. y Klinck, B. A. 2003. Groundwater and its Susceptibility to Degradation. A Global Assessment of the Problem and Options for Management. Early Warning and Assessment Report Series, RS. 03-3. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente/DEWA, Nairobi, Kenia.
- New, M., Hulme, M. y Jones, P. D. 1999. Representing Twentieth Century Space-Time Climate Variability. Part 1: Development of a 1961–1990 Mean Monthly Terrestrial Climatology. *Journal of Climate*, Vol. 12, pp. 829–56. ams.allenpress.com/amsonline/?request=get-abstract&issn=1520-0442&volume=012&issue=03&page=0829
- Njoku, E. 2004. *AMSR-E/Aqua Daily L3 Surface Soil Moisture, Interpretive Params, and QC EASE-Grids V001*, Marzo a Junio de 2004. Boulder, CO, EE. UU.: Centro Nacional sobre Nieve y Hielo. Digital media – actualizado a diario.
- Njoku, E., Chan, T., Crosson, W. y Limaye, A. 2004. Evaluation of the AMSR-E data calibration over land. *Italian Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 4, pp. 19–37. nsidc.org/data/docs/daac/ae_land3_l3_soil_moisture.gd.html
- NRC (Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos). 2004. *Review of the desalination and water purification technology roadmap*. www.nap.edu/books/0309091578/html/R1.html
- . 2000. *Issues in the Integration of Research and Operational Satellite Systems for Climate Research: Part I. Science and Design, Part 6, Soil Moisture*.

- pp. 68-81. Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Applications; Space Studies Board. National Academy Press, Washington DC. print.nap.edu/pdf/0309069858/pdf_image/68.pdf
- . 1998. *Issues in Potable Reuse: The Viability of Augmenting Drinking Water Supplies with Reclaimed Water*. Washington DC, National Academy Press.
- NSIDC (Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielo en EE. UU.). 1999. update 2005. World glacier inventory. World Glacier Monitoring Service and National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology. Boulder, CO. Digital media. nsidc.org/data/docs/noaa/g01130_glacier_inventory
- OCDE. 1996. Guidelines for aid agencies for improved conservation and sustainable use of tropical and subtropical wetland. Comisión de Ayuda al Desarrollo de la OCDE: Guidelines on Aid and Environment. No. 9.
- OIEA 2002. Isotope studies in large river basins: A new global research focus. *EDS* 83, pp. 613-17.
- OMM. 2005. Analysis of data exchange problems in global atmospheric and hydrological networks, OMM/TD No. 1255, GCOS No. 96. www.wmo.ch/web/gcos/Publications/gcos-96.pdf
- . 2004. Soil Moisture - Details of Recommended Variables. www.wmo.ch/web/gcos/terre/variable/slmois.html
- OMS 2005. Uso de las aguas residuales www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/en/
- Pandey, D. N., Gupta, A. K. y Anderson, D. M. 2003. Rainwater harvesting as an adaptation to climate change, *Current Science*, Vol. 85, No. 1, pp. 46-59. www.irhah2o.org/doc/text/pandey00.pdf
- Pereira, L., Cordero, I. y Lacovidés, L. 2002. Coping with water scarcity. Serie de documentos técnicos sobre hidrología del PHI-VI No. 58, UNESCO.
- Peters, N. E. y Meybeck, M. 2000. Water quality degradation effects on freshwater availability: Impacts of human activities, *Int'l Water Res. Assoc., Water International*, Vol. 25, No. 2, pp. 185-93.
- Peters, N. E. y Webb, B. 2004. Comunicación personal - Water quality parameters to measure related to pollution.
- PNUMA. 2005. *Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Africa*. ITEC. www.unep.or.jp/ietc/Publications/Tech-Publications/TechPub-8a/index.asp
- . 2003. *Groundwater and its Susceptibility to Degradation. A global assessment of the problems and options for management*, PNUMA/DEWA, Nairobi. www.unep.org/DEWA/water/groundwater/groundwater_report.asp
- PNUMA/GEMS (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-Programa del Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente/Agua). 1995. *Water Quality of World River Basins*. Nairobi, Kenia: PNUMA. Revenga y Mock 2000.
- Pyne, R. D. G. y Howard, J. B. 2004. Desalination/Aquifer Storage Recovery (DASR): a cost-effective combination for Corpus Christi, Tejas, *Desalination*, Vol. 165, pp. 363-67. www.desline.com/articoli/5744.pdf
- Rees, G. y Demuth, S. 2000. The application of modern information system technology in the European FRIEND project. *Moderne Hydrologische Informations Systeme*. *Agric. Res.* Vol. 52, No. 13, pp. 9-13.
- Rekacewicz, P. 2002. *Industrial and Domestic Consumption Compared with Evaporation from Reservoirs*. (PNUMA basado en Shiklomanov (1999) y UNESCO 1999, www.unep.org/vitalwater/15.html
- Revenga, C. y Mock, G. 2000. *Dirty Water: Pollution Problems Persist*. World Resources Institute Program, Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems earthtrends.wri.org/pdf_library/features/wat_fea_dirty.pdf
- Reynolds, K. 2003. Pharmaceuticals in Drinking Water Supplies, *Water Conditioning and Purification Magazine*, Vol. 45(6) www.wcp.net/column.cfm?T=T&ID=2199
- Robock, A. y Vinnikov, K. Y. 2005. Global Soil Moisture Data Bank intro climate.envsci.rutgers.edu/soil_moisture/
- Robock, A., Vinnikov, K. Y., Srinivasan, G., Entin, J. K., Hollinger, S. E., Speranskaya, M. A., Liu, S. y Namkhai, A. 2000. The Global Soil Moisture Data Bank. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, Vol. 81, pp. 1281-99.
- Rodda, J.C. 1998. *Hydrological Networks Need Improving!* En: H. Zebedi (ed.), *Water: A Looming Crisis?* Proc. Int. Conf. on World Water Resources at the Beginning of the 21st century. Paris, UNESCO/PHI.
- Schiffler, M. 2004. Perspectives and challenges for desalination in the 21st century. *Desalination*, Vol. 165, pp. 1-9.
- Shao, X., Wang, H. y Wang, Z. 2003. Interbasin transfer projects and their implications: A China case study, *International Journal of River Basin Management*, Vol. 1, No. 1, pp. 5-14 www.irbm.net/pages/archives/IRBMn1/Shao.PDF
- Shiklomanov, I. A. 1999. World Freshwater Resources: World Water Resources and their Use. webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/
- . 1997. *Assessment of Water Resources and Availability in the World*. In Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. Stockholm Environment Institute.
- Shiklomanov, I. A. y Rodda, J. C. 2003. *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Stahl, K y Hisdal, H. 2004. Hydroclimatology. Tallaksen, L. y van Lanen, H. (eds.). *Hydrological Drought - Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. (Developments in Water Science, 48). p. 22. Nueva York, Elsevier. Reeditado con permiso de Elsevier.
- Steenhoven, J. y Endreny, T. 2004. Wastewater Re-use and Groundwater Quality, *IAHS Pub.* 285.
- Tallaksen, L. M. y Van Lanen H. A. J. (eds.), *Developments in Water Science*, 48, Elsevier, Países Bajos.
- Taylor, R. y Smith, I. 1997. *State of New Zealand's Environment 1997*. Wellington, Nueva Zelanda: Ministerio de Medio Ambiente. Revenga y Mock 2000.
- UNESCO 2004. WHYMAP. *Groundwater Resources of the World*. Mapa 1:50 m. Edic. especial, agosto, BGR Hanover/UNESCO, Paris.
- . 2000. *Catch the water - where it drops. Rain water harvesting and artificial recharge to groundwater*. A guide to follow. Documento del PHI.
- UNESCO y Banco Mundial. Disponible en 2006. Non-renewable groundwater resources, a guidebook on socially sustainable management for policy matters. USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos). 2005. *Reclaimed wastewater: Using treated wastewater for other purposes*. ga.water.usgs.gov/edu/wwreclaimed.html
- Vrba, J., 1985. Impact of domestic and industrial wastes and agricultural activities on groundwater quality. *Hydrogeology in the service of man*, Vol. 18, No. 1, pp. 91-117, IAH Memoirs of the 18th Congress, Cambridge, Reino Unido.
- Vrba, J. y Zaporozec, A. (eds.). 1994. *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. Vol. 16, 131. PHI-AIH International Contribution to Hydrogeology, Verlag H. Heise, Alemania.
- Webb, B.W. 1999. *Water quality and pollution*. Pacione, M. (ed.). *Applied Geography: Principles and Practice*, pp. 152-71. Londres y Nueva York, Routledge.
- Wiegel, S., Aulinger, A., Brockmeyer, R., Harms, H., Loeffler, J., Reincke, H., Schmidt, R., Stachel, B., von Tuempling, W. y Wanke, A. 2004. Pharmaceuticals in the River Elbe and its Tributaries, *Chemosphere*, Vol. 57, pp. 107-26.
- Wolf, A. T., Natharius, J. A., Danielson, J. J., Ward, B. S. y Pender, J. K. 2002. International river basins of the world. *International Journal of Water Resources Development*, Vol. 15, No. 4, pp. 387-427. www.transboundarywaters.orst.edu/publications/register/tables/IRB_table_4.html
- WWF. 2003. *Managing Rivers Wisely - Lessons Learned from WWF's Work for Integrated River Basin Management*. www.panda.org/about_wwf/what_we_do/freshwater/our_solutions/rivers/irbm/cases.cfm
- Zalewski, M., Janauer, G.A. y Jolankai, G. 1997. Ecohydrology. A New Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources. PHI-V. Documentos técnicos sobre hidrología No. 7. UNESCO, Paris.
- Zektser, I.S. y Everett, L.G. 2004. *Groundwater Resources of the World and their Use*, PHI-VI, Serie sobre aguas subterráneas No. 6, UNESCO. (Sección 6.4 - Human Activities impact on groundwater resources and their use).

