

An aerial photograph of a large concrete dam with a curved spillway, situated in a desert canyon. The dam is surrounded by a reservoir of dark blue water. The surrounding landscape is arid and rocky, with reddish-brown soil and sparse vegetation. The sky is clear and blue.

***Y, ¿qué es un hombre sin energía?
Nada, absolutamente nada.***

Mark Twain

1ª Parte. Energía para el suministro de agua

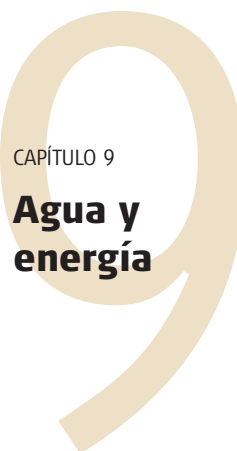
1a. Uso energético en el suministro de agua y los servicios de saneamiento	308
<i>Extracción, transporte y tratamiento</i>	308
<i>Distribución</i>	308
<i>El usuario final</i>	308
<i>Recogida de aguas residuales</i>	308
Recuadro 9.1: De la conservación del agua a la conservación de la energía	
1b. Enfoques de eficiencia energética e hídrica	309
<i>Identificar las oportunidades de eficiencia hídrica y energética</i>	309
<i>El enfoque sistémico</i>	310
Recuadro 9.2: Conservación de energía en el Distrito Hídrico de Moulton Niguel, California	
1c. Desalinización	310
Tabla 9.1: Volumen de producción de agua desalinizada en una serie de países seleccionados, 2002	
Recuadro 9.3: Desalinización utilizando energía renovable en Grecia	
1d. Energía solar para el suministro de agua	312
<i>Bombeo con energía solar</i>	312
<i>Purificadores solares de agua</i>	312
<i>Calentar agua para uso doméstico</i>	312

2ª Parte. Agua para la generación de energía

2a. La energía hidroeléctrica en su contexto	313
Recuadro 9.4: Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible: objetivos energéticos	
Recuadro 9.5: Cambio climático y contaminación atmosférica: generación de energía a partir de combustibles fósiles	
Tabla 9.2: Capacidad de energía renovable basada en la red de suministro en 2003	
Fig. 9.1: Generación mundial de electricidad por fuente, 1971-2001	
Fig. 9.2: Suministro total de energía primaria por fuente, 2002	
Recuadro 9.6: El desarrollo de la energía hidroeléctrica en África	
2b. Análisis de la energía hidroeléctrica a pequeña escala	319
Recuadro 9.7: Energía hidroeléctrica a pequeña escala en China	
Tabla 9.3: Estado de las centrales hidroeléctricas a pequeña escala en China en 2002	
Recuadro 9.8: Energía hidroeléctrica a pequeña escala en Nepal	

2c. Almacenamiento bombeado	319
Recuadro 9.9: Instalación de almacenamiento bombeado de Palmiet, Sudáfrica	
2d. Soluciones hidroeléctricas sostenibles	320
<i>Acompañamiento con fuentes de energía alternativas</i>	320
Recuadro 9.10: Hydro Tasmania, Australia	
<i>Añadir capacidad hidroeléctrica a la infraestructura existente</i>	320
Recuadro 9.11: Generación de energía hidroeléctrica en Freudenau, Austria	
<i>Extender la vida útil de las instalaciones de energía hidroeléctrica y mejorar su eficiencia</i>	321
2e. Impactos ambientales de la generación de energía térmica, incluyendo el uso de agua	321
Tabla 9.4: Intensidad de carbono para la producción de electricidad en 2002	
3ª Parte. Gobernabilidad de los recursos energéticos e hídricos	324
3a. El continuo debate sobre la energía hidroeléctrica a gran escala	324
3b. Energía renovable y eficiencia energética: incentivos e instrumentos económicos	325
<i>Mecanismos internacionales y nacionales implementados con el Protocolo de Kioto</i>	325
Recuadro 9.12: Certificados de obligación renovables: un instrumento político que fomenta la energía renovable	
<i>El caso de la electrificación rural</i>	325
<i>Mejorar la eficiencia energética</i>	326
Recuadro 9.13: Generación distribuida: el suministro de energía del futuro	
3c. Formulación de políticas para la cogestión de los recursos hídricos y energéticos	327
Tabla 9.5: Acceso a la electricidad y al agua en 2000	
Tabla 9.6: Energía hidroeléctrica: capacidad a finales de 2002	

Bibliografía y sitios web	335
--	-----



CAPÍTULO 9

Agua y energía

Por

ONU

(Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial)

Mensajes clave:

El agua y la energía son dos sectores fuertemente interconectados: la energía es necesaria a lo largo del sistema hídrico, desde el suministro de agua a los diversos usuarios, incluida la población urbana, hasta la recogida y el tratamiento de las aguas residuales. Por otro lado, el agua es esencial para producir energía, desde la producción en sí de energía hidroeléctrica hasta el enfriamiento en las centrales eléctricas.

En el contexto de una creciente población mundial, que lleva a demandas y a una competencia cada vez mayores por el agua y la energía, es el momento de integrar la gestión de estos recursos. Este capítulo hace un balance de las diversas posibilidades por explorar a fin de mejorar la eficiencia del agua y la energía y asegurar el desarrollo sostenible.

Aunque aún queda mucho camino por delante para asegurar el acceso universal al suministro de agua y al saneamiento, se necesita un progreso aún mayor para suministrar electricidad a todos. Para alcanzar estas metas urgentes y superar estos desafíos, los sistemas de suministro de agua y producción de energía necesitan efectuar mejoras que no pongan en peligro el medio ambiente.

- Hay nexos de unión muy fuertes entre el agua y la energía eléctrica que, a día de hoy, no se tienen plenamente en cuenta a la hora de formular políticas, de gestionar y de operar con el agua y los sistemas de generación de electricidad. La consecuencia es que se están perdiendo muchas oportunidades de ahorro, tanto de energía como de agua.
- El acceso a la electricidad para muchas personas pobres de países de bajos ingresos sigue estando muy por detrás del acceso a un suministro mejorado de agua. El acceso a la electricidad desempeña un papel muy importante en la paliación de la pobreza, la mejora de la salud y el desarrollo socioeconómico. Acelerar el acceso a la electricidad para los pobres, aunque no es uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), sí fue una de las metas establecidas en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (CMDS) de Johannesburgo en 2002.
- La preocupación por el impacto en el medio ambiente de los métodos tradicionales de generación de energía eléctrica está impulsando la introducción de una serie de fuentes de energía renovable no contaminantes. Sin embargo, las economías de escala en las grandes plantas térmicas e hidroeléctricas, las redes de transmisión y distribución existentes, más las subvenciones gubernamentales para estos sistemas tradicionales, sitúa a los enfoques de energías renovables en desventaja económica. No obstante, ahora existe una amplia variedad de opciones de producción de energía renovable, así como una creciente gama de incentivos e instrumentos económicos, para promover su utilización y fomentar también una mayor eficiencia de la utilización de la energía.
- La energía hidroeléctrica está disponible a diferentes escalas, desde sistemas enormes hasta los más pequeños. Esta energía es muy flexible, permite un inicio rápido y puede aumentar tanto las cargas de base de la planta de energía térmica en horas punta como compensar la fluctuación de los suministros de energía renovable, y proporcionar una capacidad de generación independiente para comunidades más pequeñas y alejadas. Hay cierta controversia sobre si los programas de energía hidroeléctrica a gran escala son fuentes de energía renovable, pero los sistemas localizados en los cursos de los ríos sí lo son, y ahora hay muchas opciones para aumentar su sostenibilidad.
- El suministro de agua y de servicios de aguas residuales de todo tipo para las zonas urbanas implica, normalmente, un consumo eléctrico elevado. Sin embargo, un enfoque sistémico de la gestión de la energía de éstos, que incluya auditorías de energía, permite lograr grandes ahorros energéticos. La desalinización de agua salina y salobre para el suministro urbano de agua crece a medida que la tecnología mejora y descienden significativamente los costes.
- La experiencia ha demostrado que el análisis simultáneo del uso del agua y de la energía a escala de las políticas puede permitir un aumento significativo de la productividad en el uso de ambos recursos. La conservación del agua puede conducir a considerables ahorros energéticos, al igual que tomar plenamente en cuenta los enfoques de eficiencia energética en las decisiones sobre política hídrica.

En esta página, desde arriba: Presa Kut Al Amara, Irak; Presa Glen Canyon, Arizona; Aldeanos extraen agua de un pozo con una bomba alimentada por placas solares, Tata, Marruecos; Tuberías que transportan el agua hasta una central de acumulación en el valle

Derecha: La Laguna Azul es un lago artificial alimentado por el excedente de agua extraída de la central eléctrica geotérmica de Svartsengi, Islandia. Capturada a 2.000 metros bajo tierra, el agua alcanza la superficie a una temperatura de 70 °C, momento en el que se utiliza para calentar las ciudades vecinas

Los usos del agua y la electricidad están inextricablemente ligados. Se utilizan grandes cantidades de agua para el enfriamiento en muchos sistemas de generación de electricidad, como en las centrales eléctricas nucleares y de carbón. La energía hidroeléctrica, aunque no es un uso consuntivo del agua, con frecuencia requiere la construcción de embalses y otro tipo de grandes obras de ingeniería que alteran los ecosistemas acuáticos. Y a la inversa, se utiliza gran cantidad de energía eléctrica para bombear el agua desde su fuente hasta los lugares donde ésta se utiliza, especialmente en la agricultura de regadío y en los sistemas municipales de agua.

Se crean vínculos adicionales entre los sectores del agua y la energía por la manera ineficiente y derrochadora con que, a menudo, se usan ambos recursos. Hay deficiencias graves en muchas partes del mundo en la generación, transmisión, distribución y utilización de la electricidad. Igualmente, hay deficiencias y fugas en los sistemas de distribución de agua. Por ello, optimizar la eficiencia en el uso del agua reducirá las necesidades de energía eléctrica, lo que a su vez conducirá a un mayor ahorro de agua que, de otro modo, se usaría para la generación de energía.

Gran parte de la infraestructura, tanto energética como hídrica, en países de ingresos bajos y medios, recibe un mantenimiento inadecuado. Hay también una grave carencia de las infraestructuras necesarias para ampliar los servicios energéticos e hídricos necesarios para mucha gente que en este momento no tiene acceso a ellos. El acceso a la electricidad para las personas pobres queda muy por detrás del acceso al suministro de agua potable en muchos países. Por ejemplo, en el África subsahariana, sólo el 25% de la población tiene acceso a la electricidad, mientras que el 83% de la población urbana y el 46% de la rural tiene acceso al suministro de agua (véase la **Tabla 9.5** al final de este capítulo).

Por ello, existe una gran presión sobre los Gobiernos de los países en vías de desarrollo para construir centrales eléctricas y proporcionar más electricidad para uso doméstico y para el desarrollo industrial. Sin embargo, el aumento de la generación eléctrica mediante la combustión de carbón, petróleo o gas, conlleva problemas de sostenibilidad relacionados con la producción de dióxido de carbono (CO₂) y el efecto invernadero. La mayor parte de la electricidad que se produce alrededor del mundo se genera en centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles cuyas emisiones agravan los problemas de la variabilidad y el cambio climático, aumentando la intensidad de los desastres naturales, que afectan principalmente a los más desfavorecidos. Alejarse de un entorno de generación de energía centrado en el carbón hacia métodos de generación más sostenibles y reducir las ineficiencias anteriormente mencionadas ayudará a aliviar este problema.

En los entornos urbanos de rápido crecimiento en los países en vías de desarrollo, los costes energéticos absorben los recursos presupuestarios de otras funciones municipales, como la educación, el transporte público y la sanidad. Si no se proporcionan suministros de energía sostenible fiables, es poco probable que se logren los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) de reducir el hambre, proporcionar agua potable segura y sistemas de saneamiento y de mejorar la salud.

El acceso a la electricidad para las personas pobres sigue estando muy por detrás del acceso a un suministro de agua potable en muchos países... en el África subsahariana, sólo el 25% de la población tiene acceso a la electricidad...





... la energía necesaria por el uso final del agua es muy superior a la necesaria para otras fases del ciclo del agua urbana

1ª Parte. Energía para el suministro de agua

En muchos países, la agricultura de regadío, el bombeo de las aguas subterráneas, los trasvases entre cuencas y los sistemas de suministro urbano de agua y de saneamiento son los mayores consumidores de electricidad. Mejorar la eficiencia del uso del agua e introducir medidas de conservación del agua pueden, por lo tanto, reducir de forma significativa el consumo de energía. Esta sección muestra la forma en que están relacionados estos dos temas, centrándose en el suministro urbano de agua y en cómo los dos sistemas deberían cogestionarse, con implicaciones futuras tanto para la política hídrica como para la energética.

1a. Uso energético en el suministro de agua y los servicios de saneamiento

Casi todos los sistemas modernos urbanos de agua y de aguas residuales requieren energía en todas las fases del proceso: entrega, recogida, tratamiento y eliminación. Allí donde, históricamente, los sistemas dependían de las fuentes de agua superficial, de los sistemas de distribución por gravedad y del tratamiento por disolución de las aguas residuales, las necesidades hídricas actuales de las crecientes zonas urbanas requieren un aporte adicional de energía para salvaguardar la salud humana.

Extracción, transporte y tratamiento

El primer paso del ciclo urbano del agua es la extracción, el transporte y el tratamiento. Las fuentes más utilizadas de agua potable son las fuentes superficiales y los pozos de aguas subterráneas. La utilización de una fuente en concreto en una región depende de la disponibilidad y del coste de la extracción del agua. Las fuentes superficiales, como los lagos, ríos y embalses, requieren normalmente algún tipo de tratamiento para alcanzar la calidad de potabilidad. La calidad de la masa de agua y el nivel deseado, así como el tipo de tratamiento son variables clave en las aportaciones de energía necesarias para esta fase. Las fuentes de agua subterránea tienen una necesidad más directa de energía, ya que se necesita energía para extraer el agua de la tierra, normalmente mediante perforaciones. La cantidad de energía requerida por el sistema de bombeo para extraer el agua subterránea depende de la profundidad del nivel freático. Resulta importante mencionar que el reciclaje y la reutilización del agua, incluida la fase de tratamiento, necesita, por norma general, bastante menos energía que la explotación de una nueva fuente física de agua distinta de la del agua superficial local.

Distribución

La distribución del agua potable es con frecuencia la fase más variable del ciclo urbano del agua. Lo ideal es que la fuente de agua esté en una cota más alta que el punto de destino. En este caso, se recurre a la gravedad para distribuir el agua y no se necesita energía. Pero en la mayoría de los casos, la topografía obliga al aporte de energía mediante bombas de impulsión para generar la presión suficiente en el sistema y distribuir el agua a las poblaciones más elevadas. El almacenamiento de agua mediante bombeo¹, que se explica más adelante en este capítulo, se utiliza con frecuencia en

esta fase para aprovechar las horas de bajo consumo de energía, convirtiendo la energía mecánica del bombeo en energía potencial al almacenar el agua en cotas más elevadas. Hay zonas en las que el transporte de agua puede requerir un gran aporte de energía. Puesto que el almacenamiento de agua ahorra energía corriente arriba, así como la energía que se aporta al final del proceso, este almacenamiento en zonas donde los suministros de agua requieren grandes aportes de energía supondrá un mayor ahorro de energía que en otras zonas.

El usuario final

Una vez que el agua se entrega para su utilización, las aportaciones adicionales de energía provienen del calentamiento y del enfriamiento del agua. Los consumidores residenciales y comerciales calientan el agua para darse un baño, para calentar los radiadores y el lavavajillas, y enfrían el agua para el aire acondicionado. Los consumidores industriales tienen una gran variedad de necesidades de agua caliente y fría según la aplicación industrial y sus necesidades de proceso. Sin embargo, la energía requerida para los usos finales del agua es mucho mayor que la necesaria para las otras etapas del ciclo del agua urbana. Aunque existen mejoras en la eficiencia que pueden reducir la energía necesaria en cada etapa del ciclo de utilización del agua, el ahorro más elevado de energía y agua viene de reducir el agua consumida por los distintos usos finales (véase el **Recuadro 9.1**). La conservación del agua en la etapa final elimina la necesidad de energía aguas arriba para llevar el agua al lugar exacto de su utilización, así como la de energía aguas abajo para recoger, tratar y eliminar esta agua.

Recogida de aguas residuales

Al igual que en la distribución, la recogida de aguas residuales se hace, idealmente, utilizando sistemas de gravedad. Cuando no es posible utilizar la gravedad, se utilizan bombas para empujar las aguas residuales a las instalaciones de tratamiento. En las alcantarillas combinadas de saneamiento y de evacuación de aguas pluviales, las precipitaciones afectan a las necesidades de energía de los sistemas de recogida, y, a veces, las abundantes lluvias desbordan las infraestructuras disponibles.

El tratamiento de las aguas residuales necesita energía para eliminar los agentes contaminantes y preparar el agua para el vertido o la reutilización. En el tratamiento aeróbico de las

1. Esto implica parejas de embalses con una diferencia de altura significativa. El agua se bombea cuando hay capacidad excedente en la red y luego se deja que descienda para generar energía en las horas punta de demanda.

aguas residuales, la mayor cantidad de energía se emplea en el propio sistema de aeración. Algunos tipos de tratamiento de aguas residuales necesitan muy poca energía (por ejemplo, las lagunas), pero sí un gran espacio. En las zonas urbanas, donde la tierra escasea, se necesita más energía para tratar grandes cantidades de aguas residuales en plantas de tratamiento que requieran menos superficie. Hay oportunidades para recuperar parte de la energía incluida en el material orgánico de las aguas residuales mediante la recuperación del gas metano a través de tratamientos anaeróbicos, utilizando luego este combustible en las instalaciones de tratamiento. De hecho, algunas de las plantas de tratamiento de aguas residuales incluso proporcionan electricidad a la red nacional.

1b. Enfoques de eficiencia energética e hídrica

Debido a la interconexión entre el agua y la energía, es vital gestionarlas de forma conjunta en vez de aislada. El ahorro energético derivado de la conservación del agua y el ahorro de agua debido a la eficiencia energética están inextricablemente unidos. Estos vínculos deberían considerarse a la hora de determinar la mejor forma de actuación desde un punto de vista económico, social y medioambiental. La eficiencia energética en el sector del agua y de las aguas residuales ahorra dinero en el funcionamiento y en el mantenimiento del sistema, reduce los costes de capital de nuevos suministros, mejora la solvencia y la capacidad de operación de los servicios hídricos, mejora la cobertura del servicio, reduce los vertidos y mejora la calidad del agua, entre otros muchos beneficios.

A fin de apoyar esfuerzos mayores para reducir el uso de energía en los sistemas de agua y aguas residuales, la energía

a gran escala y la gestión del agua deberían confiarse al ámbito local para su implementación. El término eficiencia “hidroenergética” se acuñó para describir la eficiencia combinada del agua y la energía que está al alcance de los municipios y los usuarios del agua (véase el **Recuadro 9.2**).

La implicación de la empresa de suministro energético proporciona el apoyo necesario para la aplicación de medidas de eficiencia energética y garantizar que los esfuerzos para reducir el despilfarro de energía y agua sean sostenibles como práctica empresarial. La eficiencia energética en toda instalación hídrica no tiene principio ni fin. Para sostener el ahorro energético, una instalación hídrica tiene que seguir supervisando su consumo de energía y establecer metas para mejorar.

Identificar las oportunidades de eficiencia hídrica y energética

Las auditorías de agua y energía se utilizan para identificar elementos problemáticos en los sistemas de agua y aguas residuales. Los límites del sistema que se va a auditar se eligen normalmente partiendo de consideraciones presupuestarias y de las zonas que se supone producen más ahorros energéticos para la inversión.

Las principales áreas frecuentemente identificadas como oportunidades de ahorro energético/hídrico en los sistemas de abastecimiento de agua incluyen:

- La reparación de las fugas de válvulas, tuberías de distribución, etc. Muchos sistemas de distribución de agua urbana en ciudades desarrolladas se instalaron hace más



Generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala en Lao Cai, Vietnam

RECUADRO 9.1: DE LA CONSERVACIÓN DEL AGUA A LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

La intensidad energética mide la cantidad de energía utilizada por unidad de agua. Algunas fuentes de agua poseen mayor intensidad energética que otras; por ejemplo, la desalinización requiere más energía que el reciclaje de aguas residuales. La tecnología de conservación del agua puede incrementar o reducir la intensidad energética. Sin embargo, cuando los planificadores hídricos toman decisiones, deberían fijarse, no sólo en la intensidad energética, sino también en la energía total utilizada desde la fuente hasta el grifo. En el caso de la conservación del agua, algunos programas pueden consumir mucha energía en una determinada fase del ciclo de utilización de energía/agua, pero seguir reduciendo la cantidad de energía utilizada en total. Los tres ejemplos siguientes ilustran la interacción entre la intensidad energética y el consumo total de energía:

- La conservación de agua puede aumentar la intensidad energética y el consumo total de energía: Una determinada tecnología de riego podría reducir el consumo de agua en un 5%, pero necesitar tanta energía para funcionar que aumentaría la intensidad energética en un 10%. Esto aumentaría el consumo total de energía en un 4,5%.
- La conservación de agua puede aumentar la intensidad energética pero reducir el consumo total de energía: Un lavaplatos común de alto rendimiento incrementa la intensidad energética del lavado de platos en un 30%, pero reduce el consumo de agua en un 34%. Como resultado de utilizar menos agua (y por tanto, menos energía para transportar el agua desde la fuente hasta el lavaplatos), la energía neta total necesaria para lavar los platos desciende en un 14%.
- La conservación de agua puede reducir la intensidad energética y el consumo total de energía: Una lavadora común de alto rendimiento reduce el consumo de agua en un 29% en comparación con las máquinas de bajo rendimiento y, al mismo tiempo, reduce la intensidad energética en un 27%. La intensidad energética desciende porque los aspectos mecánicos de las máquinas se han mejorado. Reduciendo el consumo total de agua y la intensidad energética, el consumo total de energía se reduce en un 48%.

Fuente: NRDC, 2004.

Los sistemas de bombeo son grandes consumidores de energía en la mayoría de los sistemas de distribución de agua, por lo que existe el potencial de reducir sustancialmente el gasto de energía en la mayoría de las instalaciones hídricas alrededor del mundo

Equipo móvil solar para calentamiento de agua proporcionado por un centro medioambiental en un barrio precario, Johannesburgo, Sudáfrica

de cincuenta años, y las fugas causadas por la corrosión de las tuberías u otros problemas pueden llevar a la pérdida de cantidades considerables de agua potable. Las pérdidas en los sistemas de distribución aumentan la intensidad energética requerida por el suministro de agua, pues las instalaciones necesitan tratar y transportar un agua que se va a perder. Las pérdidas varían considerablemente entre los proveedores urbanos de agua y llegan hasta el 30% en las ciudades desarrolladas. En las ciudades en vías de desarrollo, la cantidad de agua perdida por fugas puede llegar a ser incluso superior, alcanzando normalmente entre un 40% y un 60% (sólo aproximadamente el 2% de esta agua perdida se destina a consumos no medidos, como apagar incendios y en la construcción).

- Dimensión, diseño y mantenimiento adecuados del sistema de bombeo y motor. Los sistemas de bombeo son grandes consumidores de energía en la mayoría de los sistemas de distribución de agua, por lo que existe el potencial de reducir sustancialmente el gasto de energía en la mayoría de las instalaciones hídricas alrededor del mundo. Pueden alcanzarse pequeñas mejoras en la eficiencia instalando el mejor equipo de bombeo disponible. Sin embargo, más importante es el potencial de ahorro a través de la optimización del sistema completo de bombeo, incluida la bomba, el motor, el transmisor, los mandos, los conductos, las válvulas y todo el equipo auxiliar. Asimismo, existen oportunidades de optimización de las estrategias de control en los grandes sistemas compuestos por varias bombas colocadas en serie o en paralelo. Este tipo de optimización se puede llevar a cabo adoptando el enfoque sistémico.

El enfoque sistémico

Un funcionamiento y mantenimiento rentable de los sistemas de bombeo necesita no sólo tener en cuenta las necesidades de los componentes del equipo, sino también las necesidades del sistema en conjunto. Un "enfoque sistémico" tiene en cuenta los aspectos tanto de suministro como de demanda del sistema y el modo en que éstos interactúan, centrándose en el rendimiento total del sistema en vez de en el de cada componente. Con frecuencia, los operadores se centran demasiado en la demanda inmediata del equipo y pasan por alto la cuestión más amplia de cómo los parámetros del sistema afectan al equipo. Por ejemplo, la sustitución frecuente de juntas y cojinetes de las bombas puede mantener tan ocupado al personal de mantenimiento que éste pase por alto las condiciones operativas del sistema que provocaron los problemas en primera instancia. El **Recuadro 9.2** nos da un ejemplo del enfoque sistémico tal y como se aplica en California.

1c. Desalinización

El 97% del agua del mundo es demasiado salada para poder consumirla o utilizarla en la agricultura. La desalinización no es

un concepto nuevo, ésta se viene practicando desde tiempos bíblicos. Sin embargo, el proceso normalmente consume grandes cantidades de energía para convertir agua marina o contaminada en agua potable, haciendo del coste de energía el determinante principal del coste de la desalinización. Por todo ello, la tecnología de desalinización ha tendido a utilizarse en aquellos países con escasez de agua donde la energía es barata y abundante (véase la **Tabla 9.1**). Aproximadamente un 65% de las plantas de desalinización de todo el mundo se encuentran en los países del Golfo Pérsico.

La desalinización se puede conseguir eliminando la sal del agua o extrayendo agua pura de una fuente salina o contaminada. Para producir grandes cantidades de agua dulce de una fuente salina, resulta necesario separar el agua de la sal. Este proceso genera una solución salina altamente concentrada, o salmuera, que se puede eliminar como un producto residual, con frecuencia vertido al mar.

Tradicionalmente, la desalinización térmica o destilación ha sido la tecnología más usada para obtener del agua marina grandes cantidades de agua dulce. Los diferentes procesos de desalinización térmica requieren magnitudes y combinaciones distintas de calor y electricidad. La eficiencia económica de las plantas de desalinización se mejora cuando se dirige a la vez a la generación de energía y de agua dulce. La mayoría de las plantas desaladoras que funcionan en Oriente Medio y en otros lugares son plantas de

Tabla 9.1: Volumen de producción de agua desalinizada en una serie de países seleccionados, 2002

País	Agua desalinizada (millones de m³/año)
Kazajstán	1.328
Arabia Saudí	714
Emiratos Árabes Unidos	385
Kuwait	231
Qatar	98,6
Libia	70
Argelia	64
Bahrein	44,1
Omán	34
Malta	31,4
Egipto	25
Yemen	10
Túnez	8,3
Marruecos	3,4
Irán	2,9
Jordania	2
Mauritania	1,7
Turquía	0,5
Sudán	0,4
Somalia	0,1
Yibuti	0,1

Fuente: AQUASTAT de la FAO, 2003.



RECUADRO 9.2: CONSERVACIÓN DE ENERGÍA EN EL DISTRITO HÍDRICO DE MOULTON NIGUEL, CALIFORNIA

El distrito hídrico de Moulton Niguel, situado en el sur de California, dispone de una capacidad de suministro de agua de 181 millones de litros al día y de un sistema de aguas residuales de una capacidad de 64 millones de litros diarios. El distrito hídrico empezó a investigar medidas de eficiencia energética cuando se tuvo que hacer frente al aumento de los costes energéticos. El personal del distrito hídrico utilizó un enfoque sistémico a la hora de evaluar sus instalaciones de agua y de aguas residuales. Entre los cambios aplicados se incluyeron los siguientes:

- la instalación de un sistema de gestión energética que utilizaba controladores

programables lógicos que activaban y desactivaban las bombas en setenta y siete centrales de bombeo del distrito para aprovechar los índices de electricidad en horas valle.

- La instalación de transformadores de frecuencia variable en las bombas de aguas residuales para reducir el desgaste del motor, mejorar el control en los niveles de subida de las aguas residuales de la central, y ayudar a prevenir el estancamiento de agua residual en las tuberías
- la especificación de un alto rendimiento (95%-97%) para los motores eléctricos en todas las nuevas construcciones, así como el establecimiento de una política de sustitución de

los motores existentes a medida que éstos fuesen fallando o al acercarse al final de su vida útil.

El ahorro anual atribuido a estas mejoras de la eficiencia es superior a 330.000 dólares estadounidenses, lo que representa una reducción en los costes energéticos de, aproximadamente, el 25%.

Fuente: Alianza para el Ahorro de Energía, (www.ase.org).

RECUADRO 9.3: DESALINIZACIÓN UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE EN GRECIA

Las investigaciones llevadas a cabo en Grecia han conectado un equipo de ósmosis inversa de desalación por membrana con un generador eólico y un generador fotovoltaico solar para crear una unidad que pueda ser utilizada en zonas alejadas en las que no hay red eléctrica ni de agua potable. Actualmente, la unidad produce 130 litros de agua potable por hora a partir de un agua marina que contiene aproximadamente 37.000 partes por millón

de sólidos totales disueltos, esta cantidad resulta de procesar 1.000 l/h de agua marina. El índice de recuperación es de aproximadamente un 15%, un índice bajo si lo comparamos con otros sistemas. Durante el verano griego, la unidad podía funcionar durante una media de ocho horas al día con energía solar, mientras que en invierno el tiempo de funcionamiento se reducía a una media de cinco horas al día; sin embargo, este tiempo se alargaba

cuando se disponía de energía eólica. Ésta es una tecnología prometedora para ayudar a las zonas costeras alejadas a mejorar el acceso al suministro de agua potable.

Fuente: Martinot, 2004.

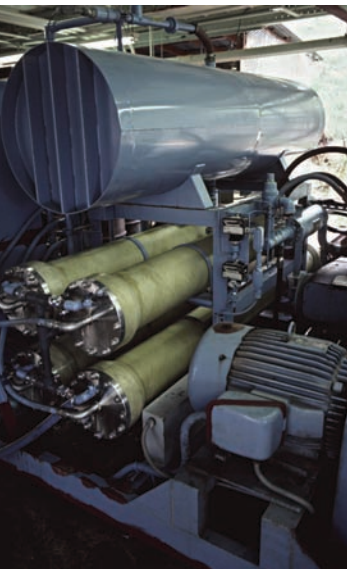
destilación duales que producen tanto agua como energía utilizando el petróleo como fuente de energía. Sin embargo, la subida del precio del petróleo mina el rendimiento económico de estas plantas, incluso en la región del Golfo Pérsico. En consecuencia, la energía nuclear se está considerando cada vez más como una fuente de energía viable para las plantas térmicas de desalinización, en concreto en países con reservas locales de uranio. Las ventajas incluyen la estabilidad del precio del combustible y su disponibilidad a largo plazo, pero ello debe sopesarse frente a los conocidos inconvenientes de los altos costes de inversión y el problema de la eliminación del combustible nuclear gastado.

La ósmosis inversa (desalinización por membrana) es un proceso en el que se aplica electricidad y que usa unas membranas especiales a través de las cuales las moléculas de agua pueden pasar bajo presión, dejando atrás las moléculas de mayor tamaño, incluidas las de la sal. El coste de los equipos de ósmosis inversa está descendiendo y ahora es la opción más común entre las nuevas plantas de desalinización. La compañía de agua Thames Water del Reino Unido está invirtiendo en la actualidad 300 millones de libras

esterlinas (539 millones de dólares estadounidenses) en una planta de ósmosis inversa para tratar el agua del estuario del río Támesis. La planta, que ha de completarse en 2007, dará servicio a 900.000 usuarios en Londres, llegando a producir 150.000 m³ de agua potable al día. Esta tecnología se puede combinar con procesos de energía renovable, como se muestra en el **Recuadro 9.3**.

Algunos países, como España, prefieren cada vez más la opción de la desalinización a los trasvases entre cuencas, dañinos para el medio ambiente, para acercar el agua a zonas costeras áridas. Sin embargo, antes de apostar por la desalinización a gran escala, ha de reconocerse que todavía se sabe relativamente poco sobre su impacto en los ambientes costeros y marinos. Se han realizado pocos estudios sobre los impactos en los recursos marinos derivados de las plantas desalinizadoras a gran escala en Oriente Medio. La variedad de los potenciales impactos medioambientales originados por las instalaciones de desalinización incluye las repercusiones negativas de la construcción, la eliminación de residuos, el daño producido, o incluso la muerte, de plantas y animales acuáticos a causa de las extracciones de agua, y los efectos secundarios del

Países como España se decantan cada vez más por la desalinización en vez de por los trasvases entre cuencas, que tienen efectos negativos para el medio ambiente...



Equipos de desalinización por ósmosis inversa en las Islas Vírgenes, Estados Unidos

En 2003 se habían instalado unos 29 millones de calentadores solares domésticos de agua en todo el mundo, de los cuales 21 millones se instalaron en los países en vías de desarrollo

aumento del consumo eléctrico. Éstos deben analizarse y abordarse adecuadamente antes de comenzar el desarrollo de las instalaciones de desalinización. En la mayoría de los casos, la conservación y el reciclaje del agua ofrecen alternativas mejores y más económicas. Los elevados costes energéticos de la desalinización también sugieren la necesidad de considerar las plantas desaladoras como un sistema de suministro de agua de urgencia que se utilizaría durante picos de demanda o periodos de sequías, en vez de como una forma básica de suministro.

1d. Energía solar para el suministro de agua

Hoy día existen equipos solares de pequeñas dimensiones y baratos para muchas aplicaciones relacionadas con el agua, incluido el bombeo, la purificación de agua y el calentamiento solar del agua.

Bombeo con energía solar

La energía solar puede utilizarse para ayudar a conseguir la meta del ODM de proporcionar agua potable segura y accesible en países que disponen de gran cantidad de luz solar. El gran potencial del bombeo solar es llevar agua dulce a los pueblos que no tienen electricidad para bombear agua subterránea. Hay muchos tipos distintos de bombas solares en el mercado para aplicaciones varias. A día de hoy, las ventas de bombas solares se hacen mayoritariamente a países desarrollados, ya que el precio de los sistemas sigue siendo bastante elevado, pero éstos están cayendo rápidamente debido al aumento de la demanda.

Purificadores solares de agua

El sistema solar de desinfección de agua más simple y barato se llama SoDis (Desinfección Solar del Agua) y está diseñado para utilizarse en el hogar. Este sistema mejora la calidad microbiológica del agua potable mediante calor y radiación solar ultravioleta A (UV-A) para desactivar los patógenos que provocan la diarrea. El sistema utiliza normalmente botellas de plástico de refrescos. El agua contaminada se acumula en botellas de plástico transparente y se expone a la luz solar directa durante seis horas. El agua ha de estar relativamente clara y las botellas han de limpiarse y no rayarse. El calor necesario puede conseguirse colocando las botellas en una chapa de hierro ondulada o sobre el tejado.

También se ha desarrollado un sistema más sofisticado de desinfección solar del agua llamado Náyade destinado a los países en vías de desarrollo. Este sistema genera agua potable segura partiendo de agua contaminada de forma sostenible y sin utilizar productos químicos a través de la radiación UV. Cada unidad pesa 44 kg y puede producir una media de 2.000 litros al día de una agua potable de gran calidad. El agua de un pozo o una fuente superficial se introduce en la unidad manualmente o con la ayuda de una tubería. El agua pasa a través de un tamiz que elimina las impurezas más grandes, luego a través de dos filtros que eliminan las partículas microscópicas (incluidos los

nematodos) y, por último, pasa bajo una lámpara de rayos ultravioleta. La luz ultravioleta mata las bacterias, virus y huevos de gusanos. Este sistema se puede activar utilizando una batería eléctrica, conectándolo a la red eléctrica o utilizando un panel solar de 75 vatios. El mantenimiento y la gestión del equipo son sencillos: si el filtro se obstruye, éste se puede limpiar fácilmente con la mano, operación que hay que realizar todos los días.

Calentar agua para uso doméstico

La capacidad termal solar para calentar agua para uso doméstico y caldear espacios está aumentando con rapidez. En todo el mundo, el sector creció un 16% en 2003, mientras que en China el crecimiento fue de un 30%. Aunque algunos países en vías de desarrollo disfrutan de climas cálidos o tropicales donde el agua caliente no es una prioridad, en muchas zonas, especialmente en las montañosas, existe una demanda considerable de agua caliente. Los calentadores solares de agua son especialmente útiles en el sector turístico y hotelero, así como en lavanderías, hospitales y clínicas. Allí donde los calentadores solares de agua reemplazan a los eléctricos, éstos desempeñan un papel importante en la reducción de picos de demanda de electricidad y reducen el impacto medioambiental derivado del uso de combustibles fósiles. Es necesario aplicar unas políticas y unos incentivos económicos adecuados para estimular la expansión de esta tecnología.

En 2003 se habían instalado unos 29 millones de calentadores solares domésticos de agua en todo el mundo, de los cuales 21 millones se instalaron en países en vías de desarrollo. Varios millones se instalaron en China e India, mientras Egipto y Turquía cuentan con miles de hogares atendidos por calentadores solares de agua. En Barbados hay más de 35.000 calentadores solares de agua instalados (33% de las casas). Cada unidad ahorra unos 4.000 kWh al año. Esto representa un ahorro de divisas en la importación de combustible diesel para la isla, además de evitar las emisiones de dióxido de carbono. Se ha calculado que estos calentadores solares de agua sustituyen entre 30 y 35 MW de capacidad adicional de generación de electricidad que, en caso contrario, tendría que instalarse en Barbados.

El éxito de los calentadores solares de agua en Barbados se apoyó en varios mecanismos de gobernabilidad. Se aplicó un impuesto sobre el consumo del 30% a los calentadores eléctricos de agua; además, el coste de la electricidad es relativamente elevado en Barbados, circunstancia que también supone un incentivo. También, los propietarios de viviendas pueden obtener concesiones en sus hipotecas instalando calentadores solares de agua. En Australia, cada calentador solar de agua con un equivalente eléctrico de 1 MWh recibe a lo largo de su vida útil entre diez y treinta y cinco certificados verdes. Estos certificados tienen un valor económico (18 dólares estadounidenses en 2002), pues los proveedores de

electricidad están obligados a comprar un determinado porcentaje de electricidad de fuentes renovables de energía, lo que pueden demostrar presentando el número correspondiente de certificados verdes. En otros países se han utilizado distintos medios para promover la utilización de calentadores solares de agua, incluidas subvenciones

directas. En Namibia, el Gobierno obliga a que se instalen calentadores solares de agua en toda nueva construcción de viviendas gubernamentales, mientras que en India, el Gobierno ha introducido una amortización acelerada de las aplicaciones comerciales y públicas de los calentadores solares de agua.

2ª Parte. Agua para la generación de energía

La energía hidroeléctrica, y la energía hidroeléctrica a pequeña escala (SHP, por sus siglas en inglés) en concreto, están reconocidas como una fuente de energía renovable asequible. Su papel en la generación de electricidad, especialmente en los países en rápido desarrollo, es crucial. La Comisión Mundial sobre Presas (WCD, 2002) centró su atención a nivel internacional en los impactos ambientales y sociales negativos de las grandes presas, lo que suscitó dudas sobre la sostenibilidad medioambiental de los proyectos de energía hidroeléctrica a gran escala. Sin embargo, sólo un 25% de las grandes presas del mundo está implicado en la producción de energía hidroeléctrica. El resto se construyó con otros fines, principalmente para la irrigación, pero también para el almacenamiento de agua, para la recreación y para ayudar al transporte fluvial. En cambio, muchos proyectos de energía hidroeléctrica a gran escala son proyectos de desarrollo fluvial, por lo que no es necesaria la construcción de presas, mientras que el papel de los programas de energía hidroeléctrica a pequeña, mini o microescala está cobrando cada vez mayor importancia en la seguridad energética de muchos países, guiados por el ejemplo de China. Resulta por tanto importante desligar la discusión sobre el papel de la energía hidroeléctrica del debate sobre las grandes presas, sin quitar importancia a las consideraciones ambientales y sociales implicadas en la elección de la tecnología.

2a. La energía hidroeléctrica en su contexto

Los Gobiernos tienen la urgente necesidad de proporcionar, a un precio asequible, la comodidad y fiabilidad que da la electricidad. El papel de la energía, y de la electricidad en concreto, en la consecución de los objetivos de desarrollo se expuso en detalle en la primera edición del Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Las estadísticas muestran que, para muchos países en vías de desarrollo, el acceso a la electricidad queda muy por detrás del acceso a un suministro mejorado de agua (véase la **Tabla 9.5** al final del capítulo). Aunque la mejora del acceso a la electricidad no es uno de los ODM, sí es un objetivo del Plan de Aplicación de Johannesburgo adoptado por la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (CMDS) en 2002 (véase el **Recuadro 9.4**). La electricidad desempeña un papel clave en la reducción de la pobreza, el fomento de las actividades económicas y la mejora de la calidad de vida, la salud y las oportunidades de educación, especialmente en el caso de las mujeres y los niños.

Desde 1970, debido al continuo aumento de la demanda mundial de electricidad, los Gobiernos han cubierto esta demanda aumentando la capacidad de generación de energía térmica (gas, petróleo, carbón y nuclear) e hidroeléctrica. Aunque el porcentaje de energía hidroeléctrica en el total del suministro energético mundial fue sólo del 2,2% en 2002, la energía hidroeléctrica supone el 19% de toda la energía eléctrica generada (véanse las **Figuras 9.1 y 9.2**).

Durante el mismo período, se ha producido un aumento perceptible en la utilización de otras fuentes renovables de energía (geotérmica, fotovoltaica solar, eólica y combinada de calor y electricidad² [CHP]). La **Tabla 9.2** muestra la capacidad de energía renovable en todos los países y en los países en vías de desarrollo en 2003. Las preocupaciones ambientales, concretamente sobre el cambio climático y la eliminación de residuos nucleares, así como sobre la seguridad en el suministro, han empujado a los Gobiernos a introducir políticas que busquen acelerar la introducción de fuentes renovables de energía y el desarrollo de centrales de energía combinada (véase el **Recuadro 9.5**). La inversión mundial en energías renovables aumentó de 6.000 millones de dólares en 1995 a, aproximadamente, 22.000 millones de dólares estadounidenses en 2003 y sigue aumentando a gran velocidad.

Las economías de escala a las que puede acceder la energía térmica e hidroeléctrica y la existencia de redes de transmisión y distribución siguen proporcionándoles una ventaja económica importante cuando se comparan con las energías renovables. Tanto la opción de energía térmica como la hidroeléctrica, especialmente cuando éstas se combinan, ofrecen la capacidad de carga y fiabilidad exigida por los usuarios de la electricidad. Históricamente, se han concedido subvenciones de todo tipo alrededor del mundo para establecer un sistema de suministro energético universal que favorece a las centrales térmicas y las grandes centrales



La electricidad desempeña un papel clave en la reducción de la pobreza, el fomento de las actividades económicas y la mejora de la calidad de vida, la salud y las oportunidades de educación...

2. CHP es la generación simultánea de energía eléctrica y de vapor para calefacción.

RECUADRO 9.4: CUMBRE MUNDIAL SOBRE EL DESARROLLO SOSTENIBLE: OBJETIVOS ENERGÉTICOS

- "Realizar acciones conjuntas y mejorar los esfuerzos para trabajar juntos a todos los niveles a fin de mejorar el acceso a unos servicios seguros y asequibles de energía para el desarrollo sostenible, suficientes para facilitar el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, incluyendo el objetivo de reducir a la mitad el porcentaje de personas que viven en la pobreza para el año 2015, y como medio para generar otros servicios importantes que atenúen la pobreza, teniendo en cuenta que el acceso a la energía facilita la erradicación de la pobreza" (Objetivo II.9).
- "Mejorar el acceso a unos recursos y servicios energéticos fiables, asequibles, económicamente viables, social y ambientalmente aceptables, teniendo en cuenta las circunstancias y especificidades nacionales, a través de diversos medios tales como la extensión de la electrificación rural, la descentralización de los sistemas energéticos, un mayor uso de las energías renovables y de combustibles líquidos y gaseosos más limpios y una mayor eficiencia energética..." (Objetivo II.9a).
- "Ayudar y facilitar de forma acelerada... el acceso de las personas pobres a unos servicios energéticos fiables, asequibles, económicamente viables, social y ambientalmente aceptables, teniendo en cuenta el papel instrumental del desarrollo de políticas energéticas nacionales para el desarrollo sostenible y que se requieren fuertes aumentos de los servicios energéticos en los países en vías de desarrollo para aumentar los niveles de vida de sus poblaciones, sin olvidar que los servicios energéticos influyen positivamente en la erradicación de la pobreza y mejoran los niveles de vida" (Objetivo II.9g).
- "Diversificar el suministro de energía mediante el desarrollo de tecnologías energéticas avanzadas, más limpias, más eficientes, asequibles y rentables, incluidas las hídricas, y su transferencia a los países en vías de desarrollo sobre la base de concesiones acordadas de forma mutua. Aumentar de modo sustancial y urgente la proporción global de fuentes renovables de energía con el objetivo de aumentar su contribución al suministro total de energía... asegurando que las políticas energéticas apoyen los esfuerzos de los países en vías de desarrollo por erradicar la pobreza, y evaluar regularmente los datos disponibles para así analizar el progreso hacia este objetivo" (Objetivo III.20e).
- "Ayudar a los países en vías de desarrollo a suministrar una energía asequible a las comunidades rurales, especialmente para reducir la dependencia de las fuentes tradicionales de combustible para cocinar y calentar, que afectan a la salud de las mujeres y la infancia" (Objetivo VI.56d).
- "Abordar de forma efectiva los problemas energéticos de África, incluyendo iniciativas... que pretendan apoyar los esfuerzos de África para lograr los objetivos energéticos de la Nueva Alianza para el Desarrollo de África (NEPAD), que buscan asegurar el acceso a al menos el 35% de la población africana en los próximos veinte años, en especial en las zonas rurales" (Objetivo VIII.62j).

Fuente: Naciones Unidas, 2002.

RECUADRO 9.5: CAMBIO CLIMÁTICO Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE COMBUSTIBLES FÓSILES

En el mundo industrializado, el futuro de la generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles estará fuertemente determinado por las exigencias de reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero. Los objetivos establecidos en el protocolo de Kioto a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático pretenden conseguir una reducción total compartida entre todas las partes del Protocolo para el período 2008-2012 de al menos un 5% respecto de los niveles de 1990. Como parte de su compromiso con el Protocolo de Kioto, la Unión Europea (UE) acordó reducir en un 8% la emisión compartida entre sus Estados miembros.

La UE ha establecido también un plan por el cual las fuentes cuyas emisiones deben ser limitadas pueden negociar sus límites de emisión (el Esquema

de Comercio de Emisiones de la UE). La mayoría de las fuentes de emisión limitadas y tuteladas por este esquema son plantas térmicas de carbón.

La Directiva de la UE relativa a las grandes plantas de combustión establece límites de emisión atmosférica para los óxidos de nitrógeno, los dióxidos de azufre y las partículas (polvo) de instalaciones de combustión con una capacidad térmica igual o superior a los 50MW. Existen similares legislaciones medioambientales en los Estados Unidos, en otros Estados miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) y en varias naciones en vías de desarrollo. También se espera que se fijen límites de emisión de metales pesados y contaminantes orgánicos provenientes de la combustión de combustibles fósiles. Hoy día, la filtración de humos de chimenea y otras

tecnologías de control de emisiones han permitido a las nuevas centrales eléctricas que usan combustibles fósiles satisfacer estos requisitos.

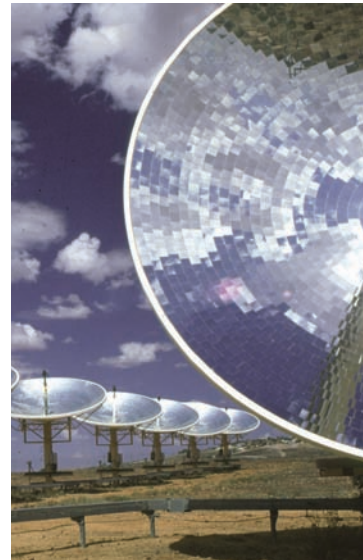
A diferencia del petróleo y el gas, las reservas mundiales de carbón son abundantes y suficientes para los próximos 200 años. Los yacimientos de carbón están extensamente distribuidos geográficamente, y el carbón se comercializa a nivel internacional. Es probable que varias naciones en vías de desarrollo sigan usando carbón en las próximas décadas. China está añadiendo cada año una capacidad equivalente de 15-20 gigavatios (GWe) a sus nuevas plantas térmicas de carbón. La eliminación del carbono en los combustibles fósiles, particularmente para el carbón, está siendo desarrollada como una medida provisional, junto con la captura de carbono, acortando la distancia hacia un sistema energético completamente renovable.

Tabla 9.2: Capacidad de energía renovable basada en la red de suministro en 2003

Tipo de generación	Capacidad en todos los países (Gigavatios)	Capacidad en los países en vías de desarrollo (Gigavatios)
Energía hidroeléctrica a pequeña escala	56	33
Energía eólica	40	3
Energía de la biomasa*	35	18
Energía geotérmica	9	4
Solar fotovoltaica (redes conectadas)	1,1	< 0,1
Energía solar térmica	0,4	0
CAPACIDAD DE ENERGÍA RENOVABLE	141,5	58
Para su comparación:		
Energía hidroeléctrica a gran escala	674	303
Capacidad total de energía eléctrica	3.700	1.300

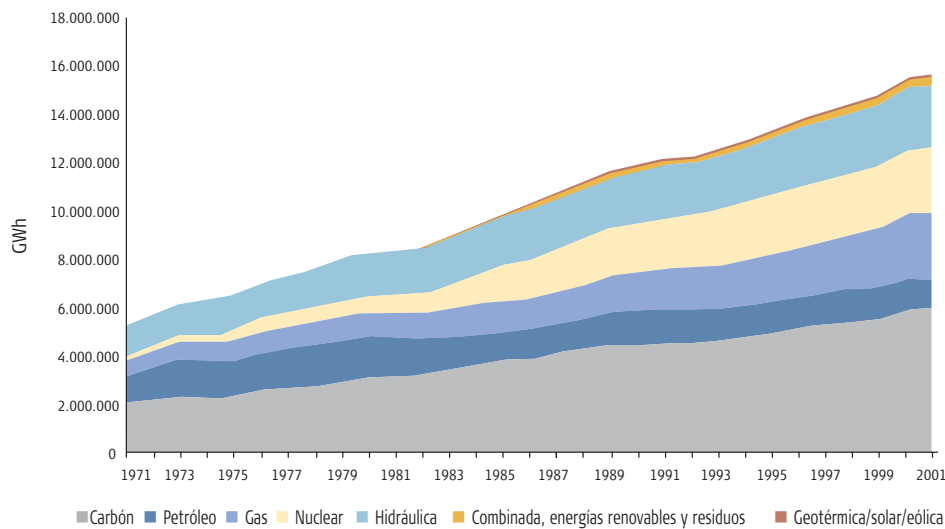
* Excluyendo la combustión de residuos sólidos municipales y la energía de gases de los vertederos.

Fuente: Adaptado de Martinot, 2002.



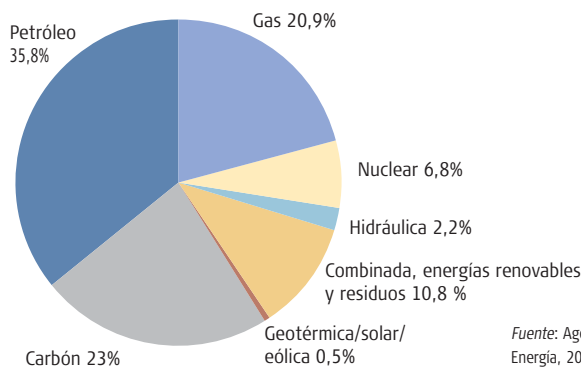
Planta de energía solar en Whitecliffs, Australia

Figura 9.1: Generación mundial de electricidad por fuente, 1971-2001



Fuente: Agencia Internacional de Energía, 2005

Figura 9.2: Suministro total de energía primaria por fuente, 2002



Fuente: Agencia Internacional de Energía, 2005.

... la energía hidroeléctrica ofrece grandes beneficios y mantiene una posición única en la gama de opciones energéticas actualmente disponibles para la generación de electricidad

hidroeléctricas de capacidad cada vez mayor. Sin embargo, la opción de la energía térmica, así como la hidroeléctrica, supone problemas ambientales y potenciales consecuencias sociales inaceptables, como el desplazamiento de los habitantes por la construcción de una gran presa, lo que limita actualmente su despliegue. De ahí que enfoques más sostenibles, alternativas a pequeña escala y una generación distribuida estén ganando terreno en varios países.

En 2001, la energía hidroeléctrica generó 2.740 teravatio hora (TWh), o el 19% de la electricidad mundial. Esto equivale a 2.100 millones de toneladas métricas de emisiones de CO₂ si dicha energía se hubiera generado en instalaciones térmicas a partir de petróleo, gas o carbón. El uso de energía hidroeléctrica varía enormemente de un país a otro. Veinticuatro países generan más del 90% de su electricidad a través de la energía hidroeléctrica, mientras que otros no generan ninguna. Europa hace uso del 75% de su potencial hidroeléctrico, mientras que África sólo ha desarrollado un 7% del mismo. Esto se ha visto como la futura piedra angular del desarrollo de África, con un potencial de exportación considerable y planes para establecer una red eléctrica a escala continental (véase el **Recuadro 9.6**). Al final de este capítulo, la **Tabla 9.6** muestra la capacidad de los países de suministrar energía a través de la energía hidroeléctrica.

Existen diferentes tipos de energía hidroeléctrica, cada una más apropiada frente a determinadas necesidades y circunstancias:

- **Embalses:** Este tipo de energía hidroeléctrica implica la construcción de una presa (pequeña o grande) y la formación de un embalse. Dicha construcción tiene normalmente múltiples funciones, tanto la de abastecimiento de agua como la de producción de electricidad. Este tipo de energía hidroeléctrica ofrece máxima flexibilidad de suministro y máxima eficiencia.
- **Almacenamiento de bombeo:** Éste implica pares de embalses con una diferencia de altura considerable. El agua es bombeada cuando existe una capacidad extra en la red, permitiéndosele después fluir de nuevo hacia abajo y generar energía en las horas punta de demanda. Este sistema utiliza más energía de la que genera, pero es esencial como reserva flexible y puede hacer que la red de electricidad sea más eficiente.
- **Centrales de agua fluente:** Esta modalidad de energía hidroeléctrica utiliza el flujo del río y tiene poca o ninguna capacidad de almacenaje o de regulación. En términos sociales y ambientales, se prefiere esta modalidad a la construcción de un embalse. Los proyectos de agua fluente se llevan a cabo en general para planes de energía hidroeléctrica más pequeños (incluyendo

RECUADRO 9.6: EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN ÁFRICA

África es un gran usuario de energía tradicional (no comercial): la biomasa. El consumo de electricidad per cápita es especialmente bajo en África Central, Oriental y Occidental. En 2000, se calculó que había 7.730 megavatios (MW) de excedente de capacidad productiva instalada en la red del sur de África. Actualmente, la energía hidráulica supone el 22% de la generación de electricidad en África, la energía nuclear el 2%, mientras que las centrales térmicas proporcionan el 70%. Sin embargo, la dependencia de la energía hidráulica es del 80% o superior en Camerún, la República Democrática del Congo, Ghana, Mozambique, Ruanda, Uganda y Zambia. A causa del enorme potencial de los grandes ríos de África, particularmente del Zambeze y del Congo, la energía hidráulica se ve como la fuerza motriz para el futuro desarrollo de África.

Mozambique

Mphanda Nkuwa es, desde el punto de vista de los estándares internacionales, un proyecto hidroeléctrico enorme. La capacidad prevista es de 1.300 MW, lo que lo hace ligeramente inferior al de Cahora Bassa, proyecto que fue encargado a mediados de los 70 y que tiene una capacidad instalada de 2.075 MW. El emplazamiento está localizado en el río Zambeze, entre Cahora Bassa y Tete. Mphanda Nkuwa está clasificado como uno de los proyectos hidroeléctricos no desarrollados más atractivos del mundo. El riesgo hidrológico ha sido limitado y bien documentado con largas series temporales de flujos de agua. El riesgo geológico es bajo y el emplazamiento de la presa puede desarrollarse al coste de 640 dólares estadounidenses por kilovatio de capacidad instalada. Puesto que las presas existentes río arriba, como Cahora Bassa, Kariba y Kafue Gorge, regulan el río Zambeze, el proyecto puede ser desarrollado como una central hidroeléctrica de agua fluente, requiriendo un pequeño embalse en relación con su tamaño, con impactos negativos medioambientales muy limitados.

República Democrática del Congo

El coste estimado de la central eléctrica Inga III de 3.500 MW, cuya construcción está prevista en el río Congo, es de 3.740 millones de dólares estadounidenses. Las líneas de transmisión previstas del llamado "Pasillo Oeste" – cuyos puntos de terminación se sitúan a una distancia de hasta 3.500 km de Inga – requerirán una inversión adicional en la región de 652 millones de dólares estadounidenses. Además, dos convertidores de 1.500 MW, que costarán 842 millones de dólares estadounidenses, están previstos como parte del proyecto. El objetivo es tener a Inga III y al Pasillo Oeste en funcionamiento antes de 2015. Esto abriría el camino para un desarrollo adicional del emplazamiento de Inga, a saber, el proyecto Gran Inga (un proyecto de agua fluente) con una capacidad de producción de hasta 39.000 MW. La viabilidad económica del Gran Inga dependerá del desarrollo de un mercado continental por toda África que, en última instancia, exportaría energía al Norte de África y posiblemente incluso a Europa.

Fuente: CEPA, 2004.

microplantas y sistemas pichidráulicos), pero la tecnología está siendo cada vez más aplicada a grandes proyectos donde la topografía lo hace posible, ya que se requiere de agua que fluya rápidamente.

La energía hidroeléctrica convencional (excepto el almacenaje de bombeo) es vulnerable a las sequías y a las fluctuaciones estacionales de las precipitaciones. Sin embargo, su valor para el sistema eléctrico de un país es que aporta una gran flexibilidad. La energía eléctrica no puede ser almacenada,

pero la demanda varía constantemente en respuesta tanto a acontecimientos predecibles como impredecibles.

La energía hidroeléctrica puede utilizarse en periodos de demanda elevada para completar el abastecimiento de unas centrales nucleares y térmicas menos flexibles. El agua puede ser almacenada indefinidamente en un embalse y luego soltada exactamente en el momento necesario para producir energía (almacenamiento bombeado). El agua es particularmente valiosa utilizada conjuntamente con otras

RECUADRO 9.7: ENERGÍA HIDROELÉCTRICA A PEQUEÑA ESCALA EN CHINA

China es conocida por sus grandes planes de energía hidráulica, como por ejemplo la central energética de Xiaolangdi en el Río Amarillo, que genera 1.800 megavatios de electricidad, y la planificada central de energía de la recién terminada presa de Las Tres Gargantas en el río Yangtsé, la cual generará hasta 16.000 MW. Sin embargo, China ha atraído también la atención internacional gracias a su desarrollo de energía hidroeléctrica a pequeña escala para la electrificación rural.

Aproximadamente la mitad de todas las plantas de energía hidroeléctrica a pequeña escala del mundo se encuentran en China. Aunque el potencial total de desarrollo factible de energía hidroeléctrica a pequeña escala es aproximadamente de 100.000 MW en toda China, la mayor parte del reciente rápido desarrollo se ha localizado en el sudeste y sudoeste del país. Hacia finales de 2002, China había instalado 28.489 MW de capacidad a través de la construcción de 42.221 centrales de energía hidroeléctrica a pequeña escala. Las características que hacen única la política china de energía hidroeléctrica a pequeña escala pueden definirse por los siguientes rasgos:

- su enfoque descentralizado
- su uso de estructuras de redes locales (o minirredes)
- las políticas y estrategias específicas que adopta, en particular las políticas globales de autoconstrucción, autogestión y autoutilización para este tipo de centrales
- la popularización de un sistema de inversión en acciones
- su uso de tecnologías y equipamiento económicos, el recurso a fabricantes autóctonos de equipamiento y la importancia concedida a la formación.

La energía hidroeléctrica a pequeña escala representa actualmente alrededor del 30% del total de la capacidad de energía hidroeléctrica de China. Trescientos millones de personas en China utilizan

actualmente electricidad derivada de la energía hidroeléctrica a pequeña escala. La mejora en el acceso a la electricidad en zonas rurales remotas ha sido espectacular: 28 millones de personas en China no tenían electricidad en el año 2000, y esta cifra bajó a 10,15 millones a finales del año 2002.

Casi la mitad de los generadores de energía hidroeléctrica a pequeña escala en China están conectados a minirredes locales (en especial en las zonas montañosas), mientras que sólo un 10% están conectados a la red nacional. El resto de las centrales de energía hidroeléctrica a pequeña escala operan aisladas. El 44% de los proyectos de energía hidroeléctrica a pequeña escala de China corresponden a la categoría de energía microhidráulica, con una capacidad de menos de 100 kW. Otro 46% son de energía minihidráulica, con una capacidad de hasta 500 kW. Los proyectos de energía hidroeléctrica a pequeña escala más grandes – con una capacidad que va de los 500 kW a los 25 MW – constituyen el 10% restante de los proyectos, pero representan el 75% de la producción eléctrica.

La construcción de redes locales basadas en energía hidroeléctrica a pequeña escala para servir a áreas rurales específicas, constituye un sistema de suministro de electricidad único desarrollado por China. El nivel de electrificación en los pueblos y en los hogares rurales aumentó de un 78,1% y un 65,3% en 1985 a un 97,7% y un 97,5% respectivamente en 2002. La calidad del suministro de electricidad mejoró, y las tarifas se redujeron hasta equipararse con las de los centros urbanos. Existen dos tipos de centrales de energía hidroeléctrica a pequeña escala: las realizadas con la inversión de Gobiernos locales, que las gestionan y poseen, y las llevadas a cabo por pequeños productores independientes de energía eléctrica con inversión privada. La distribución de las centrales de energía hidroeléctrica a pequeña escala en China, de acuerdo con la capacidad instalada, modo de funcionamiento y propiedad, puede verse en la **Tabla 9.3**.

El rápido desarrollo de la energía hidroeléctrica a pequeña escala en China puede atribuirse a lo siguiente:

- **Políticas preferentes:** el Gobierno chino introdujo muchas políticas preferentes para la energía hidroeléctrica a pequeña escala, como reducciones de impuestos, concesión de préstamos y subvenciones del Gobierno, ayuda a las empresas privadas para invertir en centrales de energía hidroeléctrica a pequeña escala y políticas de protección de las zonas de suministro hídrico y de la propiedad. La relación entre las inversiones del Gobierno central en energía hidroeléctrica a pequeña escala y las contribuciones privadas o individuales es de sólo 1 a 24.
- **Capacidad de fabricación autóctona:** En vista del hecho de que los costes de equipamiento constituyen el mayor porcentaje del coste total del desarrollo de la energía hidroeléctrica a pequeña escala, a diferencia de las grandes centrales hidroeléctricas, donde las obras públicas normalmente suponen un porcentaje mayor, el Gobierno chino decidió promocionar la fabricación local para poder reducir el coste de las centrales de energía hidroeléctrica a pequeña escala en desarrollo.
- **Reconocimiento de las ventajas de la energía hidroeléctrica a pequeña escala sobre la energía hidroeléctrica a gran escala:** China sabe desde hace mucho tiempo que la energía hidroeléctrica a pequeña escala tiene sus propias ventajas peculiares que no pueden alcanzarse a través de una generación de energía hidroeléctrica a gran escala.

Fuente: International Networking on Small Hydropower (www.inshp.org).

Los embalses de almacenaje de bombeo son más pequeños que los convencionales y menos polémicos, pues dependen menos de la topografía

Tabla 9.3: Estado de las centrales hidroeléctricas a pequeña escala en China en 2002

<i>Centrales de energía hidroeléctrica a pequeña escala por capacidad instalada</i>					
	Tipos	Micro	Mini	Pequeña	Total
Central	Número	18.944	19.606	4.427	43.027
	Porcentaje	44	456	10,4	100
Capacidad instalada	MW	687	7.171	8.404	26.262
	Porcentaje	2,6	27,3	70,1	100
Rendimiento anual	GWh	1.860	20.245	65.036	87.141
	Porcentaje	2,1	23,2	74,7	100
<i>Centrales de energía hidroeléctrica a pequeña escala por modo de funcionamiento</i>					
	Modo	Red nacional	Red local	Aislada	Total
Central	Número	4.722	20.465	17.840	43.027
	Porcentaje	10,9	47,6	41,5	100
Capacidad instalada	MW	6.412	17.869	1.981	26.262
	Porcentaje	24,5	68	7,5	100
Rendimiento anual	GWh	20.097	60.792	6.252	87.141
	Porcentaje	23,1	69,8	7,2	100
<i>Centrales de energía hidroeléctrica a pequeña escala por tipo de propiedad</i>					
	Propiedad	Estado	Otros	Total	
Central	Número	8.244	34.783	43.027	
	Porcentaje	19,2	80,8	100	
Capacidad instalada	MW	17.500	8.762	26.262	
	Porcentaje	66,6	33,4	100	
Rendimiento anual	GWh	62.954	24.187	87.141	
	Porcentaje	72,2	27,8	100	

Fuente: International Networking on Small Hydropower (www.inshp.org).

RECUADRO 9.8: ENERGÍA HIDROELÉCTRICA A PEQUEÑA ESCALA EN NEPAL

En Nepal, donde cerca del 83% del terreno es montañoso, la extensión de la red no es normalmente rentable, dado el alto coste y el factor de baja carga inherente al abastecimiento de energía a asentamientos remotos y dispersos. La energía hidroeléctrica a pequeña escala de menos de 100 kW (microhidráulica), y menos de 5 kW (picohidráulica) puede ser utilizada en circunstancias donde las condiciones hidrológicas sean las adecuadas (disponibilidad y pendiente del flujo del agua). Cerca de 2.000 generadores de energía hidroeléctrica a pequeña escala generan 13 MW a la vez que suministran energía mecánica. Otros 40 pequeños proyectos administrados por la Autoridad Eléctrica de Nepal proporcionan 19 MW de capacidad instalada. El Gobierno, en su décimo plan quinquenal (2002-2007), se ha impuesto el objetivo de producir otros 10 MW adicionales de electricidad por medio de planes microhidráulicos descentralizados, proporcionando así electricidad fuera de la red al 12% de la población, en su

mayoría en zonas rurales montañosas, que está actualmente sin cubrir.

Generalmente, los planes de electrificación micro o picohidráulica en Nepal pertenecen a la comunidad o son privados. Puesto que se requiere una cantidad importante de inversión de capital y de organización para establecer un plan microhidráulico, es más común que la comunidad se una con el fin de conseguir el capital necesario para construir un modelo que sirva a su pueblo que la construcción de microplantas hidráulicas con capital privado. Los planes dirigidos por la comunidad tienen también más probabilidades de recibir el apoyo de organizaciones no gubernamentales. Sin embargo, el Gobierno concede subvenciones sin tener en cuenta a quién pertenece el proyecto. Se emplea una gran variedad de tecnologías en los planes micro y picohidráulicos realizados a lo largo de todo el país. Los planes de energía hidroeléctrica de muy pequeño tamaño, como Peltric Sets, promovido por una empresa nepalí, Kathmandu

Metal Industries, son muy populares por su simplicidad y su baja inversión de capital. Los equipos son pequeñas turbinas verticales tipo Pelton y unidades modulares de generación inductiva muy pequeñas (a menudo menores de 2 kW), que necesitan muy poca obra para su instalación. Las tuberías de polietileno, generalmente utilizadas para el abastecimiento del agua y propósitos de regadío, dirigen el agua a la turbina desde un canal directamente procedente del río o en ocasiones desde un pequeño embalse. A partir de 2001, cerca de 700 proyectos como éste fueron instalados en varias partes de Nepal. Para proyectos más grandes de electrificación, de hasta 100 kW, Pelton y Crossflow son las turbinas más populares. Existen casi veinte fabricantes de micro y picoturbinas y otros componentes en el país. Todos los equipos requeridos se fabrican localmente en Nepal.

Fuente: IT Power (www.itpower.co.uk).

fuentes renovables, como la energía solar o eólica, cuyos rendimientos están sometidos a muchos altibajos en función de la climatología. Además, el rápido tiempo de reacción de la energía hidroeléctrica permite satisfacer variaciones repentinas de forma casi instantánea. De esta manera, la energía hidroeléctrica ofrece grandes beneficios y mantiene una posición única en la gama de opciones energéticas actualmente disponibles para la generación de electricidad.

2b. Análisis de la energía hidroeléctrica a pequeña escala

No hay un consenso universal sobre la definición de energía hidroeléctrica a pequeña escala. Una definición comúnmente aceptada es que se trata de una planta hidroeléctrica con capacidad de hasta 10 MW, pero en EE. UU. y Brasil, por ejemplo, el límite asciende hasta 30 MW. En la parte inferior de la clasificación de la energía hidroeléctrica a pequeña escala, las definiciones se subdividen en minihidráulicas para menos de 500 kW, microhidráulicas para menos de 100 kW y picohidráulicas para 10 kW o menos.

Las plantas de energía hidroeléctrica a pequeña escala tienen una larga vida útil, como ha quedado demostrado por la exitosa rehabilitación de numerosos proyectos. Los costes de un proyecto se pagan casi totalmente por adelantado, con unos costes de mantenimiento y funcionamiento fijos y predominantemente bajos a lo largo de su vida útil. Puede haber también mayores beneficios, como un control más amplio sobre inundaciones, regadío y almacenamiento y suministro de agua.

Cuando las plantas de energía hidroeléctrica a pequeña escala requieren un embalse, se ha descubierto que usan mucho más espacio de embalse por unidad de energía

producida que las plantas de energía hidroeléctrica de mayor tamaño. Por término medio, las plantas de capacidad menor a 100 MW usan 249 hectáreas por megavatio (ha/MW), mientras que los proyectos más grandes, que producen entre 3.000 y 18.000 MW, sólo ocupan 32 ha/MW.

La introducción de electricidad en comunidades remotas en los países en vías de desarrollo con terreno difícil ha sido posible tan solo mediante planes descentralizados de energía hidroeléctrica a pequeña escala. La iluminación de los hogares y zonas de los alrededores es la principal aplicación de la electricidad generada por tales proyectos, y proporciona tanto beneficios sociales como económicos. Ejemplos de energía hidroeléctrica a pequeña escala en uso en Asia pueden verse en los **Recuadros 9.7 y 9.8** y en la **Tabla 9.3**. El uso de la energía hidroeléctrica a pequeña escala puede contribuir a la reducción de la pobreza mediante un desarrollo socioeconómico sostenible, aumentando las oportunidades de empleo para la población local, mejorando el nivel de vida en las zonas rurales y promocionando un desarrollo respetuoso con el medio ambiente.

2c. Almacenamiento bombeado

El almacenamiento bombeado es como una pila gigante recargable, una fuente de reserva de energía disponible en cualquier momento sean cuales sean las condiciones meteorológicas. El almacenamiento bombeado no depende de los ríos ni de las lluvias, ya que utiliza la misma agua una y otra vez. Cuando existe capacidad eléctrica excedente en un sistema eléctrico, por la noche por ejemplo, ésta se utiliza para bombear agua desde un embalse bajo a uno alto. Luego, en horas punta de demanda, se permite al agua fluir de nuevo hacia abajo, generando energía extra para complementar a la de la red. Los embalses de



La presa de Atatürk (Turquía) es la mayor de una serie de 22 embalses y 19 plantas hidroeléctricas construidas en los ríos Tigris y Éufrates

RECUADRO 9.9: INSTALACIÓN DE ALMACENAMIENTO BOMBEADO DE PALMIET, SUDÁFRICA

La instalación de almacenamiento bombeado de Palmiet, justo a las afueras de Ciudad del Cabo, tiene dos funciones complementarias: proporciona una reserva flexible de electricidad para la red nacional de Sudáfrica y ayuda a suministrar agua dulce a Ciudad del Cabo. El proyecto consiste en dos embalses con una diferencia de altura de 285 metros y un conducto conector que pasa a través de una planta hidroeléctrica con una turbina reversible.

Utilizando el excedente de electricidad procedente de la red nacional, la turbina reversible bombea agua hacia arriba a lo largo de una cadena de dos kilómetros de largo de túneles revestidos de acero hasta el embalse más alto durante los periodos más tranquilos de la semana, y durante treinta y tres

horas el fin de semana. Luego, en los días laborables, cuando la demanda de energía de las industrias y personas de Sudáfrica alcanza su máximo, se permite que el agua fluya hacia abajo a través de las turbinas, generando electricidad que se bombea a la red. El embalse más alto tiene también un desagüe separado por el cual el excedente de agua puede fluir por la otra parte de la montaña a la gran reserva de Steenbras, transfiriendo agua eficazmente de una cuenca a otra. De ahí, es llevada hasta la red de suministro de Ciudad del Cabo, aportando un total de 25 millones de metros cúbicos al año.

Construido entre 1983 y 1988, Palmiet ha desempeñado un papel muy importante a la hora de proporcionar estabilidad al suministro eléctrico

de Sudáfrica. Más del 90% de la electricidad del país proviene de centrales eléctricas de carbón, que son relativamente inflexibles y no pueden hacer frente fácilmente a las variaciones de la demanda.

Palmiet, que tiene una capacidad de 400 MW, y la otra planta de almacenamiento bombeado de Sudáfrica, el proyecto de 1.000 MW Drakensberg, representan conjuntamente sólo un 1,5% de la producción total de electricidad. Sin embargo, ayudan al sistema a absorber cualquier choque debido a averías o picos de demanda y permiten que las centrales de energía térmica funcionen a unos niveles constantes de producción y la eficiencia energética (véase el **Capítulo 14**).

Fuente: Asociación Internacional de Hidroelectricidad (www.hydropower.org).

RECUADRO 9.10: HYDRO TASMANIA, AUSTRALIA

Hydro Tasmania, que es el mayor productor de energía hidroeléctrica de Australia con una capacidad de 2.300 MW, proyecta construir parques eólicos para la generación de 1.000 MW. El plan depende del cable submarino Basslink, que conecta Tasmania con el resto de Australia, y está programado que se complete a principios de 2006.

Hydro Tasmania podrá entonces usar conjuntamente su producción eólica-hidráulica en el territorio cercano a la costa para absorber los picos de demanda de las industrias del estado de Victoria, que goza de la mayor red eléctrica de Australia en el continente. La compañía estatal podría garantizar

el suministro, puesto que sus proyectos de energía hidroeléctrica en Tasmania proporcionarían apoyo si las condiciones meteorológicas hicieran imposible la generación eólica.

El plan fue creado por los objetivos obligatorios del Gobierno australiano para la aplicación de energías renovables, diseñado inicialmente para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del país y la fuerte dependencia de las plantas térmicas de carbón. Bajo esta iniciativa, las autoridades regionales australianas tendrían que obtener al menos un 2% de su energía a partir de fuentes renovables para el año 2010. Los que no cumplan

los objetivos serán multados o tendrán que comprar Certificados de Energía Renovable a productores de energía renovable como Hydro Tasmania.

La sinergia entre la hidroelectricidad y otras fuentes de energía, no sólo permite un incremento de la penetración de las energías renovables en el mercado energético sino que, al satisfacer los picos de demanda, también reduce la necesidad de inversiones adicionales para la generación de la carga base de energía.

Fuente: Asociación Internacional de Hidroelectricidad (www.hydropower.org).

almacenamiento bombeado son más pequeños que los embalses convencionales y menos polémicos, pues dependen menos de la topografía. Éstos son particularmente eficaces en países con suministros de agua limitados, como Sudáfrica (véase el **Recuadro 9.9**). Japón, el mayor consumidor de energía hidroeléctrica de almacenamiento de bombeo, ha estado incluso experimentando con el almacenamiento de bombeo de aguas marinas, pero las dificultades técnicas han hecho que este método resulte económicamente poco atractivo (véase el **Capítulo 14**).

La capacidad de almacenamiento de bombeo en el mundo ascendió a 103 GW en 2003, lo que representa aproximadamente el 13% del total de la capacidad hidroeléctrica. Japón y EE. UU. cuentan con el 24% y el 20% de ésta respectivamente. Italia, Francia y Alemania también tienen sustanciales capacidades de almacenamiento de bombeo.

Los equipos de almacenamiento de bombeo pueden arrancar en pocos minutos durante una emergencia para proporcionar la capacidad de reserva necesaria. Esto permite a las plantas térmicas de carbón operar a niveles constantes de generación, funcionando así de manera más eficiente y disminuyendo las emisiones de CO₂; sin embargo, el almacenamiento de bombeo tiene un nivel de eficiencia que va del 70% al 75% y utiliza un cuarto de energía eléctrica más de la que genera. En un sistema con una proporción substancial de plantas térmicas, esto está más que compensado, tanto por el incremento de la eficiencia de los generadores, que utilizan petróleo, gas y carbón, como por la consiguiente reducción de la cantidad de gases de efecto invernadero que éstas emiten.

2d. Soluciones hidroeléctricas sostenibles

Hay tres opciones para incrementar la capacidad de generación eléctrica a partir de la energía hidráulica que son especialmente sostenibles y rentables: acompañarse de una fuente de energía alternativa, añadir capacidad hidroeléctrica

a la infraestructura existente y prolongar la vida útil e incrementar la eficiencia operativa de los proyectos hidroeléctricos existentes.

Acompañamiento con fuentes de energía alternativas

La fiabilidad y la flexibilidad de funcionamiento de la energía hidroeléctrica hacen que ésta sea idónea para funcionar en tándem con fuentes alternativas de energía, lo que quiere decir que la hidroelectricidad puede desempeñar un papel esencial en el desarrollo de estas jóvenes industrias. Muy pocas pueden proporcionar el constante y garantizado suministro de energía que la red eléctrica requiere, pero cuando éstas van acompañadas de energía hidroeléctrica pueden suministrar de forma efectiva electricidad al sistema, proporcionando incentivos financieros para el desarrollo de estos sectores.

Cuando los aerogeneradores o los paneles solares están inyectando energía a la red, las centrales hidroeléctricas pueden reducir su propia generación y almacenar reservas adicionales de agua en sus embalses. Estas reservas pueden ser entonces utilizadas para incrementar la generación de energía hidroeléctrica y subsanar la deficiencia cuando el viento desaparece o el sol es cubierto por las nubes y cae la generación de estas fuentes. Esto queda bien ilustrado por los grandes proyectos combinados de energía eólica e hidráulica en Tasmania (véase el **Recuadro 9.10**).

Añadir capacidad hidroeléctrica a la infraestructura existente

Debe recordarse que tan solo el 25% de las presas mundiales están implicadas en la producción de energía hidroeléctrica. Las políticas de suministro de agua y energía se coordinaron a menudo en el pasado de manera deficiente, con reticencia a realizar planes intersectoriales que sirvan para ambos usos. En África, el continente con el potencial de energía hidroeléctrica menos desarrollado, sólo el 7% de las

Presa Pierre-Bénite,
Francia



presas tienen como objetivo principal la generación de electricidad. Esto supone la oportunidad de añadir capacidad hidroeléctrica a las presas existentes.

La industria de la energía hidroeléctrica ofrece actualmente una gama de distintos tipos de equipamiento adecuado para este propósito. Esto es también relevante en las partes del mundo donde el potencial de la energía hidroeléctrica está ya ampliamente desarrollado, como en Europa (75%) y Norteamérica (69%). Una capacidad generada extra de 20.000 MW podría añadirse en EE. UU. mediante la instalación de unidades generadoras en cerca de las 2.500 presas que hoy en día no contienen ninguna. Muchas autoridades están considerando nuevas formas de añadir capacidad de generación de energía hidroeléctrica sin necesidad de construir nuevas presas (véase el **Recuadro 9.11**). Puesto que los lugares más adecuados desde un punto de vista físico, político y económico han sido utilizados, resulta más difícil recibir la aprobación para realizar cualquier proyecto en una nueva zona, pues la hostilidad hacia las presas es todavía fuerte entre algunos grupos medioambientalistas. En estas condiciones, añadir capacidad generadora a las presas ya existentes es una atractiva opción.

Extender la vida útil de las instalaciones de energía hidroeléctrica y mejorar su eficiencia

Los elementos estructurales de un proyecto de energía hidroeléctrica, que tienden a absorber cerca del 70% del coste inicial de la inversión, tienen una vida útil proyectada de 100 años. En lo que se refiere al equipamiento, la renovación puede ser una opción atractiva pasados treinta años. Los avances en la tecnología hidroeléctrica pueden justificar la sustitución de componentes clave o incluso de equipos generadores completos. Por regla general, los equipos generadores pueden ser mejorados o reemplazados dos o tres veces durante la duración del proyecto con equipos electromecánicos más avanzados tecnológicamente, haciendo así un uso más eficaz del mismo caudal de agua.

Una turbina puesta en marcha en la década de los 70, por ejemplo, podría tener un pico de eficiencia operativa del 80% al 85%, mientras que una turbina moderna aumentaría este valor al 90% o al 95%. La larga vida útil de las plantas hidroeléctricas y unos costes operativos extremadamente bajos hacen que, incluso una modesta mejora, resulte económicamente atractiva. Una serie de técnicas, a falta de sustituir la turbina, pueden ser utilizadas para aumentar el rendimiento, mediante la comprobación informatizada y la simulación, por ejemplo. Modificar la forma de los álabes de la turbina resultó eficaz, por ejemplo, en Arapuni, en Nueva Zelanda, donde la productividad ha aumentado considerablemente después de una mejora en la eficiencia en 2002.

Existen tres formas principales de mejorar la eficiencia operativa en los proyectos de energía hidroeléctrica existentes, lo que permite una mayor generación de electricidad a partir del mismo esquema:

- Mejorar la gestión del agua y permitir a las plantas operar a su nivel óptimo de eficiencia mediante el ajuste de los caudales para maximizar la caída disponible en cada planta. Los únicos costes serían la prueba del rendimiento de los equipos y la formación del personal.
- Instalación de equipos diseñados para alcanzar mayor eficiencia sobre una variedad más amplia de caudales a través de la turbina. Esto tiene una importancia especial para los proyectos pequeños en los que el volumen del caudal podría variar bruscamente durante las estaciones lluviosas y las secas, incluso durante el mismo día, dependiendo de las precipitaciones.
- Aumentar el flujo a las turbinas y reducir las pérdidas, a través de cambios mínimos de los canales hidráulicos. Esta solución implica algunos trabajos de ingeniería civil. Un ejemplo es el plan de Manapouri en Nueva Zelanda, que se completó en 1971. En el año 2002, una nueva obra de desagüe de 10 kilómetros fue puesta en marcha para transportar el agua desde las turbinas. El diseño mejorado de este túnel permitió que el rendimiento aumentase considerablemente.

2e. Impactos ambientales de la generación de energía térmica, incluyendo el uso de agua

Allí donde hay establecidas redes de transmisión y distribución de electricidad, la energía térmica es actualmente la principal alternativa a la energía hidroeléctrica para la generación de la carga base de energía eléctrica. En una planta de energía térmica, el calor es generado por la combustión de combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas) o a través de la fisión nuclear de material radioactivo. El calor se utiliza para producir vapor, que genera energía eléctrica mediante una turbina de vapor conectada mecánicamente a un generador eléctrico. El agua y el vapor circulan entre el generador de vapor (caldera) y la turbina de vapor en un circuito cerrado.

El vapor que sale de la turbina debe condensarse y, puesto que la condensación emplea torres de refrigeración, donde el agua de enfriamiento se pierde a causa de la evaporación, existen problemas relacionados con los recursos hídricos asociados al desarrollo de la energía térmica. Allí donde el agua superficial se utiliza para el enfriamiento y se devuelve directamente al río o lago de donde se extrajo (refrigeración directa) el agua devuelta estará varios grados más caliente, dando lugar a cambios de temperatura que pueden afectar a los ecosistemas acuáticos (véase el **Capítulo 5**). Además, una planta energética típica que utilice tecnología de refrigeración directa puede matar a toneladas de peces cada año atrapando a los peces contra las rejillas filtradoras de entrada de agua o arrastrándolos al interior de la instalación. En una central térmica, la refrigeración es esencial para el



Central eléctrica alimentada con carbón en Bergheim, Alemania

La larga vida útil de las plantas hidroeléctricas y unos costes operativos extremadamente bajos hacen que, incluso una modesta mejora, resulte económicamente atractiva

RECUADRO 9.11: GENERACIÓN DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN FREUDENAU, AUSTRIA

Un ejemplo de pensamiento creativo en la generación de energía hidroeléctrica puede verse en el Danubio a su paso por Freudenu, Austria. Esta instalación de agua fluyente en el corazón de Viena se terminó de construir en 1998.

El proyecto está compuesto por seis turbinas Kaplan gigantes con una capacidad instalada de 172 MW, suficiente para suministrar electricidad a la mitad de los hogares de la ciudad. Además de generar energía hidroeléctrica, el sistema protege contra las

inundaciones, ayuda a aumentar los niveles de las aguas subterráneas de Viena y ha restaurado los niveles de agua en dos brazos ciegos del río. El proyecto ha mejorado la navegación en los canales y añadido dos grandes esclusas para el tráfico fluvial en una de las hidrovías más concurridas de Europa.

El propietario, la empresa estatal Verbund, añadió más tarde modernas turbinas Matrix a las esclusas de navegación. Estos grupos de pequeñas turbinas

captan la energía del agua que normalmente se descarga mediante compuertas y válvulas, con lo que se consigue una energía adicional de 5 MW. Esto es una pequeña cantidad si se la compara con el resultado total del proyecto, pero es importante en sí misma, en especial porque podría añadirse al sistema sin el trastorno que supone crear un nuevo sitio para la generación de electricidad.

Fuente: Asociación Internacional de Hidroelectricidad (www.hydropower.org).

La disponibilidad de agua está determinando actualmente el desarrollo de la tecnología de refrigeración en las centrales térmicas

funcionamiento eficaz de la turbina de vapor y para la recuperación y recirculación de agua muy purificada que ha de devolverse en circuito cerrado a la caldera de vapor. Los costes de la central eléctrica y el tiempo de vida útil (normalmente entre treinta y cuarenta años) podrían verse seriamente afectados si la disponibilidad de agua de refrigeración quedase limitada. Las centrales situadas en la costa pueden conseguir el enfriamiento con agua del mar. Sin embargo, las plantas de combustión de carbón están con frecuencia localizadas cerca de los depósitos de carbón (planta "en la boca de la mina") para reducir los costes del transporte del carbón, en cuyo caso dependen mucho de la disponibilidad local de agua de refrigeración.

En varios países principales productores de carbón, incluida China, partes de India, Sudáfrica y Estados Unidos, los depósitos de carbón están situados en zonas áridas. En Estados Unidos, casi el 40% del consumo diario de agua dulce se destina a generar energía. La mayor parte de esta agua es devuelta a la fuente; aproximadamente un 2% se consume o se evapora. Hoy en día, la disponibilidad de agua está determinando el desarrollo de la tecnología de refrigeración en las centrales térmicas.

Es importante diferenciar entre el desvío de agua y el uso consuntivo. El primero indica la cantidad de agua extraída de una masa de agua (río o lago), la mayor parte de la cual se devuelve a la cuenca, aunque a una temperatura elevada, lo que da lugar a ciertas preocupaciones medioambientales. El uso consuntivo indica la cantidad perdida del recurso, pues es la cantidad de agua que se evapora en el proceso de enfriamiento y no vuelve a su fuente original. Existen tecnologías para el control de la temperatura del agua que se desecha tras el proceso de refrigeración de las centrales térmicas, así como para reducir el uso consuntivo prácticamente a cero, pero la aplicación de estas tecnologías implica costes adicionales.

Además de los efectos adversos sobre el medio ambiente acuático debido al vertido de agua de refrigeración, la generación de energía mediante la combustión fósil (especialmente la basada en el carbón) también es

responsable de la contaminación atmosférica. Las emisiones de óxido de azufre y nitrógeno son las causantes de la lluvia ácida, cuya deposición provoca la degradación de los ecosistemas y daña la producción agrícola y edificios. Como resultado de estas medidas, la utilización de carbón bajo en azufre, la instalación de filtros de polvo, la desulfuración de los gases de combustión y las tecnologías de control del óxido de nitrógeno son una práctica común en las centrales modernas de generación de energía con combustión fósil. Las emisiones atmosféricas producidas por la combustión de carbón son actualmente el principal reto al que está confrontada la instalación y el desarrollo de plantas energéticas alimentadas por carbón.

Los objetivos de reducción de gases de efecto invernadero acordados en el Protocolo de Kioto limitarán las emisiones de CO₂, el gas de efecto invernadero que más contribuye al cambio climático. La reducción de las emisiones de CO₂ será considerablemente más cara que los controles de la deposición ácida. Esto también tendrá un efecto considerable sobre la posición competitiva del carbón en comparación con otras fuentes de energía que no generan gases de efecto invernadero, como las opciones de generación de energía hidroeléctrica o nuclear (esta última también plantea problemas medioambientales relacionados con el almacenamiento de residuos y posibles accidentes).

La **Tabla 9.4** recoge los cincuenta países con la mayor intensidad de carbono en la producción de electricidad (WRI, 2004). Las tecnologías de "carbón limpio" más recientes, incluidas las de combustible pulverizado supercrítico, de lecho fluido presurizado y de ciclo combinado de gasificación integrada (IGCC, por sus siglas en inglés), controlan las emisiones de CO₂ generando electricidad de forma más eficiente. Tecnologías más antiguas basadas en el carbón tienen una eficiencia que va del 30% al 35%. Las nuevas tecnologías limpias del carbón, especialmente las de IGCC, reducen las emisiones de CO₂ por unidad de energía generada y tienen el potencial de alcanzar una eficiencia del 45% o

más. Es probable que la aplicación a gran escala de la captura de CO₂ vaya acompañada de una utilización acelerada de tecnología IGCC. En varios países de la OCDE, se están llevando a cabo investigaciones centradas en la captura de CO₂ de los gases de combustión de las centrales eléctricas así como sobre el transporte y la captura de CO₂ en reservas de petróleo y gas agotadas, acuíferos salinos profundos, lechos de carbón no explotables y en el fondo del océano.

Se puede hacer una observación interesante si se explora la relación entre la intensidad de carbono para la producción de electricidad y el papel de la energía nuclear en el sector

eléctrico. En el grupo de los 25 países con la mayor intensidad de carbono, sólo tres países tienen centrales nucleares en sus carteras eléctricas, cada uno de ellos a un nivel más bien modesto. Sin embargo, en el grupo de los 25 países siguientes hay cinco países con electricidad nuclear y, en tres de ellos, la energía nuclear proporcionó cerca del 30% de la electricidad en 2002. Es probable que los países con medios económicos para invertir en energía nuclear acaben recurriendo a esta solución como una forma de reducir su dependencia de los combustibles fósiles, alcanzando la seguridad energética y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

Tabla 9.4: Intensidad de carbono³ para la producción de electricidad en 2002

País	Gramos de carbono por kilovatio hora	País	Gramos de carbono por kilovatio hora
1 Estonia	328,9	26 República Checa	206,8
2 Moldavia	314,2	27 Singapur	206,7
3 Kazajstán	309	28 Líbano	200,3
4 Qatar	300,4	29 Rumania	198,5
5 Polonia	286,1	30 Bahrein	187,4
6 China	259,9	31 Trinidad y Tobago	185,3
7 Turkmenistán	245,8	32 Costa de Marfil	184,6
8 India	240,7	33 Argelia	183,4
9 Senegal	237,1	34 Kuwait	182,6
10 Malta	234,7	35 Marruecos	180,3
11 Bosnia Herzegovina	232	36 Jordania	179
12 Chipre	231,5	37 Irlanda	178,7
13 Bielorrusia	229,9	38 Zimbabue	175,8
14 Sudáfrica	229,7	39 Libia	172,6
15 Serbia y Montenegro	227,6	40 Kenia	170
16 Omán	222,8	41 Indonesia	166,8
17 Togo	222,2	42 Hungría	166,3
18 Emiratos Árabes Unidos	220,7	43 Nicaragua	166,1
19 Grecia	220,1	44 Dinamarca	165,6
20 Israel	215,7	45 Letonia	162
21 Australia	215,6	46 Federación Rusa	158,8
22 Cuba	214,9	47 Bulgaria	154,8
23 Azerbaiyán	212,8	48 Bangladesh	152,2
24 Brunei	208,4	49 Irán	151,8
25 Uzbekistán	207,1	50 Irak	148,8

Nota: Estos datos cubren la generación con combustible fósil, la energía hidroeléctrica y la nuclear, las energías renovables y la generada a partir de los desechos. Los países listados generan las mayores cantidades de gases de efecto invernadero por unidad de electricidad generada, y por lo tanto tienen el mayor potencial para la aplicación de soluciones tecnológicas a fin de reducir las emisiones de carbono. China e India cuentan con opciones de energía hidroeléctrica no explotadas, tal y como se ha expuesto anteriormente, al igual que muchos otros países que aparecen en esta tabla. Sin embargo, para los países con una importante dependencia del gas y el carbón, las mejoras tecnológicas en la generación de energía térmica se convertirán en necesarias.

Fuente: WRI, 2004.

3. Intensidad de carbono: Emisiones de dióxido de carbono en relación con el PIB.



China, India y Turquía a menudo argumentan que sus necesidades de electricidad para el crecimiento económico y el desarrollo social pesan más que las preocupaciones medio-ambientales que rodean a la energía hidroeléctrica...

3ª Parte. Gobernabilidad de los recursos energéticos e hídricos

En el pasado, algunos proyectos de energía hidroeléctrica, particularmente los grandes embalses, han tenido un impacto negativo en las zonas más cercanas. Los daños al medio ambiente local y la atención inadecuada prestada a los afectados de la zona contribuyeron a la hostilidad mostrada por algunas organizaciones medioambientales y de derechos humanos hacia el sector de la energía hidroeléctrica. La Comisión Mundial sobre Presas intentó acercar a las distintas partes, aunque sus sugerencias no fueron bien recibidas por todos (WCD, 2000). Las directrices publicadas más recientemente por la Asociación Internacional de Hidroelectricidad (IHA) en 2004 han sido ampliamente aceptadas a lo largo del sector de la energía hidroeléctrica, en concreto los principios básicos de equidad, participación en la toma de decisiones y responsabilidad.

3a. El continuo debate sobre la energía hidroeléctrica a gran escala

La IHA argumenta que la distribución equitativa de los beneficios de todo proyecto energético requiere sopesar cuidadosamente los intereses de los implicados y las partes concernidas. La energía hidroeléctrica utiliza suministros renovables de agua, no combustibles fósiles finitos. En contraste con la energía nuclear, la hidroelectricidad no deja residuos tóxicos que amenacen a las generaciones futuras y, en comparación con la energía térmica, prácticamente no emite ningún gas de efecto invernadero. Aunque la gran mayoría de los costes del proyecto han de desembolsarse al principio, los beneficios se extenderán durante 100 años o más.

Además, mientras todo efecto negativo del proyecto de energía hidroeléctrica recae sobre la comunidad local, los beneficios – en forma de suministros fiables de electricidad – se reparten entre todos los habitantes de la nación o la región.

La clave para la gestión de los cambios reside en la planificación previa y la consulta a todas las partes interesadas. Las Directrices de Sostenibilidad de la IHA afirman que los responsables de desarrollo hidráulico que planifiquen un proyecto deberían intentar minimizar lo siguiente:

- los peligros para la salud, concretamente las enfermedades transmitidas por el agua o la malaria
- la pérdida de hogares, granjas y otros medios de vida
- el desbaratamiento de las redes comunitarias y las pérdidas de identidad cultural
- los cambios en la biodiversidad de la zona afectada.

Y, a la vez, éstos deberían intentar maximizar:

- la consulta oportuna a todos los niveles
- el flujo de información relevante hacia todos los afectados
- la solución negociada de conflictos
- el pago oportuno y adecuado a modo de compensación.

Allí donde deba trasladarse a personas o comunidades a nuevos emplazamientos, los promotores deberán hacer lo siguiente:

- investigar posibles vías alternativas para la realización del proyecto
- garantizar la consulta adecuada con las personas que habrán de ser desplazadas a lo largo del proyecto
- garantizar un medio de sustento equivalente o mejorado en el nuevo emplazamiento
- proporcionar un mejor nivel de vida y salud pública en el nuevo emplazamiento.

Los países en rápido desarrollo, como China, India y Turquía, a menudo argumentan que sus necesidades de electricidad para el crecimiento económico y el desarrollo social pesan más que las preocupaciones medioambientales que rodean a la energía hidroeléctrica, y que el apoyo al desarrollo de energía hidroeléctrica a gran escala es una política a favor de los pobres. Esta necesidad fue reconocida en el Plan de Aplicación de Johannesburgo (Naciones Unidas, 2002), donde se incluyó la energía hidroeléctrica entre las “tecnologías energéticas avanzadas más limpias, más eficientes, más asequibles y más rentables” necesarias para los países en vías de desarrollo. Sin embargo, varias organizaciones no gubernamentales hacen campaña para eliminar la energía hidroeléctrica a gran escala de los esfuerzos mundiales para promover la energía renovable. Entre los argumentos avanzados por esta postura se encuentran los siguientes:

- incluir los grandes proyectos de energía hidroeléctrica en las iniciativas de energías renovables reduce la financiación para las nuevas tecnologías de energía renovable
- no existen beneficios derivados de la transferencia de tecnología en los grandes proyectos de energía hidroeléctrica, pues se trata de una tecnología madura
- los grandes proyectos de energía hidroeléctrica suelen tener impactos sociales y ecológicos graves
- los grandes embalses hidroeléctricos pueden emitir grandes cantidades de gases de efecto invernadero debido a la descomposición de materia orgánica
- los grandes embalses hidroeléctricos a menudo quedan inservibles por la sedimentación

Este debate, que ya viene de lejos, sigue siendo un tema de gran importancia. Muchos proyectos de energía hidroeléctrica a gran escala necesitan construir grandes presas. Éstas son estructuras con una larga vida útil, que afectan permanentemente al curso del río y a un tramo importante de su cabecera. En el sentido estricto del término, no son renovables. Sin embargo, como se ha expuesto en este capítulo, también hay proyectos hidroeléctricos de agua fluyente de gran magnitud, así como proyectos de energía hidroeléctrica que van de la mini a la microescala, y que son todos ellos proveedores de energía renovable. Ha de recordarse también que la fuerza impulsora de la construcción de nuevas presas es la irrigación, más que la generación de energía hidroeléctrica.

El nexo entre agua y energía se puede entender mejor distinguiendo la cuestión de las grandes presas de la de la energía hidroeléctrica, excepto en los casos de determinados proyectos de energía hidroeléctrica que sin duda requieren la construcción de nuevos embalses de gran tamaño. En estos casos específicos es necesaria una mayor transparencia, responsabilidad y supervisión del proceso contractual para garantizar que las prácticas corruptas salgan a la luz a fin de promover la equidad social y la buena gobernabilidad.

3b. Energía renovable y eficiencia energética: incentivos e instrumentos económicos

En las regiones desarrolladas del mundo, la electricidad se suministra a la gran mayoría de los usuarios mediante industrias de servicios integrados verticalmente partiendo de la generación central de energía. Durante las últimas décadas, los esfuerzos de los encargados de formular las políticas energéticas, los planificadores de servicios, los reguladores y los responsables del desarrollo de tecnología de generación han permitido que este tipo convencional de generación de energía y sistema de suministro se mantenga a la par de la creciente demanda, pero ello con unos impactos sociales y medioambientales que, cada vez más, se consideran inaceptables. La inercia dentro del sistema de suministro energético - las centrales eléctricas y los sistemas de transmisión y distribución tienen un período de vida útil de varias décadas - significa que será difícil cambiar esta tendencia.

Sin embargo, con un índice de crecimiento mundial anual del 30%, la capacidad de generación basada en energías renovables está aumentando actualmente más rápido que la opción de energía convencional. El interés acelerado en la energía renovable remonta a la "crisis del petróleo" de la década de los 70, pero la principal responsable del reciente resurgimiento del interés en la energía limpia es una lista de preocupaciones medioambientales encabezada por el cambio climático.

En los países en vías de desarrollo, donde se necesita urgentemente acceso a una energía asequible, las preocupaciones medioambientales han de sopesarse cuidadosamente frente a las urgentes necesidades de desarrollo. Como hemos visto antes en este capítulo, los Gobiernos son menos receptivos a las objeciones a la

construcción de grandes presas para la generación de energía hidroeléctrica o a la instalación de nuevas centrales eléctricas de combustión de carbón que emiten gases de efecto invernadero cuando su prioridad es satisfacer rápidamente la creciente demanda de electricidad. Claramente, la transición a un sistema de suministro de energía mundial totalmente sostenible requiere una formulación de políticas cooperativa e innovadora, por no decir radicalmente nueva.

Mecanismos internacionales y nacionales implementados con el Protocolo de Kioto

A nivel internacional, las medidas del Mecanismo para un Desarrollo no Contaminante (CDM, por sus siglas en inglés) y de Aplicación Conjunta (AC) establecidas en el Protocolo de Kioto buscan proporcionar incentivos para la utilización de tecnologías energéticas renovables y de bajo nivel de emisión de carbono en los países en vías de desarrollo a través de la venta de créditos de carbono procedentes de las inversiones en energía limpia. Dado su historial de décadas de éxito demostrado, no sorprende que los proyectos de energía hidroeléctrica abundan en las carteras actuales de los Proyectos CDM y AC. Las iniciativas multilaterales establecen objetivos de reducción de emisiones y los medios de cooperación para alcanzarlos. Sin embargo, estos proyectos habrán de acompañarse de políticas nacionales que estimulen un mercado próspero de recursos de energía renovable, como la eólica, la biomasa, la fotovoltaica solar, la hidroeléctrica y la térmica y eléctrica combinada (CHP). Por ejemplo, las tarifas de suministro obligan a las compañías a comprar energía renovable de cualquier productor en su zona de servicio al precio establecido por el Gobierno. Estos precios son, en general, ligeramente inferiores al precio de la electricidad para los distribuidores, lo que facilita el beneficio de la inversión y asegura un apoyo a largo plazo. Los Estándares para una Cartera de Energía Renovable (RPS, por sus siglas en inglés) requieren que la cuota de energía renovable adquirida por una empresa se incremente anualmente en un porcentaje determinado. Los RPS crean estabilidad y demanda a largo plazo, lo que fomenta mercados prósperos de energías renovables. En un país determinado, las discrepancias regionales que surgen del coste y la disponibilidad de las fuentes de energía renovable se pueden compensar mediante "certificados de energía renovable" comerciables (los llamados "certificados verdes" en Australia). Las tarifas de suministro, los RPS y los certificados comerciables pueden necesitar mayor apoyo a largo plazo y subvenciones estables, como créditos tributarios a favor de la inversión y amortizaciones aceleradas (véase el **Recuadro 9.12**).

De hecho, los mercados de energía renovable tienen que estar dirigidos por una combinación de medidas de demanda y suministro capaces de mantener los costes de los distribuidores de electricidad y los precios de venta a sus consumidores a un nivel mínimo.

El caso de la electrificación rural

La electrificación rural es un caso especial. La provisión de electrificación rural se llevó a cabo de forma eficaz mediante



Vista aérea de las torres de refrigeración de Tucson Electric Power, Arizona, Estados Unidos

RECUADRO 9.12: CERTIFICADOS DE OBLIGACIÓN RENOVABLES: UN INSTRUMENTO POLÍTICO QUE FOMENTA LA ENERGÍA RENOVABLE

El desarrollo de la hidroelectricidad a pequeña escala tiene la posibilidad de beneficiarse de instrumentos políticos diseñados para apoyar las energías renovables. El mayor operador de energía hidroeléctrica del Reino Unido, Scottish and Southern Energy, está involucrado en un programa de inversión de 360 millones de euros (439 millones de dólares estadounidenses) para mejorar sus proyectos más antiguos durante diez años. Se espera que esto aumente el rendimiento de la energía hidroeléctrica en el Reino Unido, de unos 5.000 GWh al año, en 200 GWh. El programa fue

posible gracias a la decisión del Gobierno británico de permitir la renovación de los proyectos de energía hidroeléctrica de capacidad inferior a 20 MW con el fin de hacerlos aptos para los Certificados de Obligación Renovable. La compañía había reformado anteriormente las plantas de energía hidroeléctrica más grandes a través de un aumento del rendimiento de un 6% al precio de 60 millones de euros (73 millones de dólares estadounidenses). Los Certificados de Obligación Renovable fueron introducidos por el Gobierno británico para fomentar el desarrollo de la energía renovable. Cada

suministrador de electricidad debe producir una cierta proporción de su energía a partir de fuentes capacitadas para obtener los Certificados, o bien exponerse a multas por cada MW que produce. La primera de las plantas más pequeñas capacitadas para optar al certificado era una planta de una capacidad de 17 MW en St. Fillians, mejorada en 2002 para alcanzar un aumento del 8% en su rendimiento y una prolongación de treinta años en su vida útil.

Fuente: ONUDI, 2004.

Las energías renovables, aunque ecológicas y libres de los caros costes del combustible, a menudo son intermitentes y soportan la carga de una elevada inversión de capital

cooperativas rurales en el mundo industrializado entre las décadas de los 30 y los 50.

Este modelo institucional ha sido empleado con éxito en varios países en vías de desarrollo. Los altos costes de la extensión de la red, en especial a zonas remotas de varios países en vías de desarrollo, significan que las comunidades rurales aisladas son normalmente abastecidas por minirredes alimentadas por gasóleo en lugar de redes de distribución eléctrica operadas centralmente. La electricidad producida por generadores a gasóleo puede suponer un coste dos a tres veces superior al coste de la energía de red en las zonas urbanas, aunque de todas maneras sigue siendo rentable frente a la opción de ampliación de la red. Los costes de mantenimiento y transporte del gasóleo son altos. Las emisiones de gas de efecto invernadero por unidad de energía generada por un motor a gasóleo son particularmente elevadas.

Allá donde haya recursos de energía renovable, sea ésta solar, eólica, de biomasa, biogás o minihidráulica, su uso puede sustituir o complementar al gasóleo. Las energías renovables, aunque ecológicas y libres de los caros costes del combustible, a menudo son intermitentes y soportan la carga de una elevada inversión de capital. Se necesitan reformas políticas para hacer que los recursos de capital estén más disponibles para las inversiones en energía rural a pequeña escala. La microfinanciación es en estos momentos casi un prerrequisito para los proyectos rurales de desarrollo de energía. Los planes de microfinanciación son especialmente importantes para las fotovoltaicas y otras tecnologías de energía renovable. Existe también la necesidad de estimular la fabricación local de equipos de energía renovable y gradualmente aumentar el contenido de componentes nacionales.

La electrificación rural debe verse en el contexto más amplio del desarrollo rural. Aunque existan barreras importantes, el desarrollo subvencionado y la instalación de minirredes de energía renovable está avanzando en el mundo en vías de desarrollo. Con un conocimiento mejorado de las necesidades del desarrollo rural y un entendimiento más claro de la

contribución de una energía fiable, rentable y limpia al desarrollo rural, estos proyectos deberían llevar a su multiplicación, a su apoyo comercial, a la retirada de subvenciones de forma escalonada y al objetivo final de la reducción de la pobreza.

Mejorar la eficiencia energética

De la misma manera que se necesitan políticas innovadoras para superar los obstáculos hacia el despliegue acelerado de las tecnologías de energía renovable, se necesitan nuevos métodos para motivar a los usuarios de la energía a que se aprovechen del enorme potencial de mejorar la eficiencia energética en el tramo final. La mayoría de la demanda energética futura del mundo tendrá que ser satisfecha por medio de mejoras en la eficiencia.

El mercado de productos y servicios que respondan a pautas de eficiencia energética está lejos de ser perfecto, y la información no es ni extensa ni clara. El potencial para la optimización del sistema energético industrial sigue sin llevarse a la práctica. La producción, no la eficiencia energética, es la principal prioridad de los fabricantes industriales. Los presupuestos de funcionamiento de las plantas y los presupuestos de mejoras de capital se contabilizan por separado, con lo cual las consecuencias de adquirir equipos menos eficientes no están vinculadas a los crecientes costes de funcionamiento; sin embargo, éstos podrían ser del orden del 80% o más del coste del ciclo de vida útil del equipo. Estos desincentivos tan solo pueden ser invertidos mediante la formulación de políticas integradas que incluyan cambios en las leyes de imposición y medidas para incorporar los costes del ciclo de vida energético a los procedimientos de licitación para los proyectos de capital (véanse los **Capítulos 2 y 12**).

Mientras que los fabricantes de equipos que consumen gran cantidad de energía han mejorado con éxito el rendimiento de los componentes individuales, como las bombas, compresores, ventiladores y calderas de vapor, estos componentes sólo proporcionan un servicio al usuario cuando operan como parte de un sistema. Existe potencial para mejorar la eficiencia

RECUADRO 9.13: GENERACIÓN DISTRIBUIDA: EL SUMINISTRO DE ENERGÍA DEL FUTURO

Los generadores de energía eléctrica – convencionales y renovables por igual – venden su producto a través de redes de distribución. En el futuro, la energía renovable será suministrada por numerosos pequeños generadores de energía eléctrica y, con frecuencia, intermitentes (como las centrales combinadas de producción de calor y electricidad [CHP] y la energía eólica). La red necesita gestionarse cada vez más como una malla compuesta de elementos interrelacionados, en lugar de un embudo unidireccional de energía, para que los suministradores puedan seguir proporcionando energía segura y continua a sus clientes. Para alcanzar estos objetivos de energía renovable en los sistemas de red ya establecidos, los operadores de la red necesitarán nuevas herramientas e incentivos, pero ello no supone de ninguna manera una dificultad insalvable. De hecho, el uso más extendido de la generación in situ puede reforzar las redes saturadas. Hoy día, las redes apoyan a las centrales de energía térmica e hidroeléctrica que

distribuyen electricidad producida en masa con el fin de satisfacer la curva de carga total. Para dar cabida a la penetración de los pequeños productores de energía eléctrica, cuyo número es cada vez mayor, se requieren nuevos procedimientos y protocolos de funcionamiento de la red, muchos de los cuales ya existen.

La generación distribuida (GD) ofrece un conjunto prometedor de soluciones y beneficios. La GD significa producir energía cerca del cliente por medio de una red alimentada por varios pequeños generadores. Al operar en paralelo a la red principal, los sistemas de GD proporcionan parte o la totalidad de la energía requerida por el usuario, mientras que la red o bien absorbe el excedente o bien sufre el déficit.

La generación in situ o local con centrales combinadas de calor y electricidad, no sólo reduce las pérdidas de energía térmica de las plantas convencionales, sino que también disminuye

considerablemente las pérdidas de la red que se derivan del transporte de la electricidad a través de largas distancias desde centrales hidroeléctricas y térmicas remotas. Desde el punto de vista del coste, la inversión en generación local también evita el elevado gasto que supone construir redes de transmisión a larga distancia, que pueden demostrar ser vulnerables a cualquier trastorno.

La función de la red está, por lo tanto, evolucionando desde un papel de suministrador al de acumulador. A todos los usuarios de la red se les debería requerir un pago razonable de la parte que les corresponde para la construcción y el mantenimiento de dichas redes según el uso que se haga de las mismas y según los servicios que se proporcionen para el refuerzo de la red. Alcanzar acuerdos razonables de recuperación de costes resulta complejo pero factible, y es probable que ello proporcione un incentivo adicional para una inversión en generación que reduzca el uso de la red.

Fuente: WADE (www.localpower.org).

energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en todo el sector industrial mediante la mejora del diseño y funcionamiento de los sistemas de distribución de energía al punto de uso. Los sistemas de bombeo representan por sí solos el 20% de la demanda de energía eléctrica del mundo y entre el 25% y el 50% del uso total de energía en algunas operaciones industriales.

Una manera de aumentar la implementación y persistencia de las medidas de eficiencia energética en el sector industrial, sería que los participantes de la industria incorporasen sus compromisos de eficiencia energética al sistema de calidad y gestión medioambiental ISO 9000/14000 (véase el **Capítulo 8**). La certificación ISO se ha convertido en un vehículo facilitador del comercio para los países en vías de desarrollo, con más de 155.000 plantas industriales de estos países participando en diciembre de 2002. Hacer un seguimiento de los proyectos e hitos de eficiencia energética, por lo que a su sistema de gestión de la calidad y medioambiental según la certificación ISO se refiere, ayudará a cada empresa a mantenerse centrada en sus compromisos de eficiencia energética, proporcionará visibilidad a sus logros y un mecanismo de verificación de los mismos para los financiadores del proyecto. Todas estas medidas ayudarán a estimular un nivel considerablemente alto de actividad en los programas de eficiencia energética industrial.

3c. Formulación de políticas para la cogestión de los recursos hídricos y energéticos

Los responsables de la formulación de políticas en los sectores hídrico y energético necesitan encontrar mejores

formas de integrar las decisiones que se tomen entre ambos sectores para así poder optimizar los beneficios, abordar las barreras financieras e identificar potenciales nuevas alianzas. La inclusión de las consideraciones energéticas puede mejorar las decisiones sobre la gestión de los recursos hídricos y evitar consecuencias energéticas potencialmente significativas no intencionadas. Los indicadores clave del éxito de tal cogestión serían la mayor disponibilidad, aceptabilidad y asequibilidad, tanto de los servicios hídricos como energéticos.

Un reciente informe basado en tres estudios de casos detallados en California ha mostrado claramente que incluir las consideraciones energéticas en la gestión del agua puede llevar a conseguir mayores ahorros de energía y dinero (NRDC, 2004). El análisis de los estudios de casos sostiene dos recomendaciones principales referentes a cómo los responsables de la toma de decisiones pueden empezar a alcanzar estos ahorros, que son generalmente aplicables en muchas zonas más allá de California:

- Los responsables de la toma de decisiones deberían integrar mejor los temas energéticos en la toma de decisiones sobre política hídrica. Considerar el uso de la energía y el agua simultáneamente genera percepciones valiosas que no surgen del análisis separado de las políticas sobre temas hídricos y energéticos.

En este sentido, el informe realiza las siguientes recomendaciones:

- modificar las herramientas de planificación para la gestión de los recursos hídricos con el fin de incluir el uso de la energía y sus costes

... incluir las consideraciones energéticas en la gestión del agua puede llevar a conseguir mayores ahorros de energía y dinero...

Los Gobiernos que han ratificado el Protocolo de Kioto están obligados a reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero y promover las inversiones en energía limpia

- mejorar la coordinación entre las agencias de gestión de recursos para mejorar la identificación y abordar mejor las implicaciones energéticas en las decisiones de política hídrica
- llevar a cabo un análisis de la intensidad energética de los sistemas de distribución del agua e identificar las regiones y los distritos donde se necesiten grandes cantidades de energía para suministrar agua
- desarrollar alianzas diseñadas para producir beneficios energéticos, económicos y medioambientales, mediante trasvases voluntarios de agua desde el sector agrícola, concentrándose en trasvases en años secos en localidades donde las grandes desviaciones de agua aguas arriba reducen los flujos de generación de energía hidroeléctrica aguas abajo.
- Tanto los responsables de la formulación de políticas hídricas como energéticas necesitan dar a la conservación del agua una mayor prioridad. La cantidad de energía necesaria para el uso final es el mayor componente del uso energético en el suministro urbano de agua. Por lo tanto, las acciones políticas que afectan a los usos finales del agua pueden tener muchas más consecuencias que las acciones políticas que afectan a la mezcla de las fuentes físicas de agua. La conservación tiene unos beneficios económicos y ambientales relacionados con la energía mucho más fuertes de lo que se ha reconocido en el pasado. Además, los beneficios energéticos de la conservación del agua pueden generar beneficios referentes a la calidad del aire y al cambio climático. En este sentido, el informe recomienda las siguientes acciones:
 - dar prioridad a la financiación de la conservación del agua
 - hacer cumplir los requisitos existentes de conservación del agua
 - promover la conservación del agua mediante estrategias de tarificación y medición del agua
 - ofrecer incentivos para la conservación del agua.

Existen importantes puntos débiles en la tarificación, tanto de la electricidad como del agua, en varias partes del mundo, lo que envía mensajes equivocados a los consumidores sobre la necesidad de conservar estos dos recursos (véase el **Capítulo 12**). Además de esto, los regímenes reguladores, donde existen, a menudo no están suficientemente centrados en la necesidad de un uso eficiente y de la conservación del agua. Con frecuencia, las culturas en los sectores de la electricidad y el agua de varios países son muy diferentes, y raramente se da el nivel de comunicación requerido para explotar las sinergias potenciales de los dos sectores. La disponibilidad, tanto de agua como de energía, es esencial para la supervivencia humana y la prosperidad nacional. En el mundo globalizado del siglo XXI, la seguridad del suministro de agua y energía necesitará regímenes de gobernabilidad que sean sensibles a las consideraciones medioambientales y sociales, así como a las políticas y económicas. En los numerosos casos de países donde la disponibilidad de los recursos hídricos y energéticos y las consecuencias medioambientales y sociales del uso de los mismos estén interrelacionadas, pueden defenderse planes de acción y normativas que traten de forma simultánea el agua y la energía. Las numerosas ineficiencias existentes en ambos sectores, no solamente repercuten sobre el alivio de la pobreza y el desarrollo socioeconómico, sino en gran medida en otros sectores relacionados con el agua y el medio ambiente. Los Gobiernos deberían reconocer la estrecha conexión que existe entre los dos sectores con el fin de maximizar los beneficios de las posibles sinergias entre ellos.

Tabla 9.5: Acceso a la electricidad y al agua en 2000

	Acceso de la población a una fuente mejorada de agua		Producción de electricidad en kWh (miles de millones)	Acceso de la población a la electricidad (%)
	Urbana (%)	Rural (%)		
Afganistán	19	11	-	2
Albania	99	95	4,9	-
Alemania	-	-	567,1	-
Angola	34	40	1,4	12
Arabia Saudí	100	64	128,4	97,7
Argelia	94	82	25,4	98
Argentina	97	73	89	94,6
Armenia	-	-	6	-
Australia	100	100	208,1	-
Austria	100	100	60,3	-
Azerbaiyán	93	58	18,7	-
Bangladesh	99	97	15,8	20,4
Bélgica	-	-	82,7	-
Benín	74	55	0,1	22
Bielorrusia	100	100	26,1	-
Bolivia	95	64	4	60,4



Tabla 9.5: Continuación

	Acceso de la población a una fuente mejorada de agua		Producción de electricidad en kWh (miles de millones)	Acceso de la población a la electricidad (%)
	Urbana (%)	Rural (%)		
Bosnia Herzegovina	-	-	10,4	-
Botsuana	100	90	-	22
Brasil	95	53	349,2	94,9
Bulgaria	100	100	40,6	-
Burkina Faso	66	37	-	13
Burundi	91	77	-	-
Camboya	54	26	-	15,8
Camerún	78	39	3,5	20
Canadá	100	99	605,1	-
Chad	31	26	-	-
Chile	99	58	41,3	99
China	94	66	1.355,6	98,6
Colombia	99	70	44	81
Congo	71	17	0,3	20,9
Congo, Rep. Dem.	89	26	5,5	6,7
Corea, Rep.	97	71	292,5	-
Corea, Rep. Dem.	100	100	31,6	20
Costa de Marfil	92	72	4,8	50
Costa Rica	99	92	6,9	95,7
Croacia	-	-	10,7	-
Cuba	95	77	15	97
Dinamarca	100	100	36,2	-
Ecuador	90	75	10,6	80
Egipto	99	96	75,7	93,8
El Salvador	91	64	3,9	70,8
Emiratos Árabes Unidos	-	-	38,6	96
Eritrea	63	42	-	17
Eslovenia	100	100	13,6	-
España	-	-	221,7	-
Estados Unidos	100	100	4.003,5	-
Estonia	-	-	8,5	-
Etiopía	81	12	1,7	4,7
Federación Rusa	100	96	876,5	-
Filipinas	91	79	45,3	87,4
Finlandia	100	100	70	-
Francia	-	-	535,8	-
Gabón	95	47	1	31
Gambia	80	53	-	-
Georgia	90	61	7,4	-
Ghana	91	62	7,2	45
Grecia	-	-	53,4	-
Guatemala	98	88	6	66,7
Guinea	72	36	-	-
Guinea-Bissau	79	49	-	-
Haití	49	45	0,5	34
Honduras	95	81	3,7	54,5
Hong Kong, China	-	-	31,3	-
Hungría	100	98	35	-
India	95	79	542,3	43
Indonesia	90	69	92,6	53,4
Irán, Rep. Islámica	98	83	121,4	97,9
Irak	96	48	33,7	95
Irlanda	-	-	23,7	-
Israel	-	-	43	100
Italia	-	-	269,9	-
Jamaica	98	85	6,6	90



Este panel de energía solar fotovoltaica se utiliza para bombear agua, pueblo de Kabekel, Gambia

Tabla 9.5: Continuación

	Acceso de la población a una fuente mejorada de agua		Producción de electricidad en kWh (miles de millones)	Acceso de la población a la electricidad (%)
	Urbana (%)	Rural (%)		
Japón	-	-	1081,9	-
Jordania	100	84	7,4	95
Kazajstán	98	82	51,6	-
Kenia	88	42	3,9	7,9
Kirguistán	98	66	14,9	-
Kuwait	-	-	32,5	100
Laos, RDP	61	29	-	-
Lesoto	88	74	-	5
Letonia	-	-	4,1	-
Líbano	100	100	7,8	95
Libia	72	68	20,7	99,8
Lituania	-	-	11,1	-
Madagascar	85	31	-	8
Malasia	-	94	69,2	96,9
Malawi	95	44	-	5
Mali	74	61	-	-
Marruecos	98	56	14,1	71,1
Mauritania	34	40	-	-
Mauricio	100	100	-	100
México	95	69	204,4	-
Moldavia	97	88	3,3	-
Mongolia	77	30	-	90
Mozambique	81	41	7	7,2
Myanmar	89	66	5,1	5
Namibia	100	67	1,4	34
Nepal	94	87	1,7	15,4
Nicaragua	91	59	2,3	48
Níger	70	56	-	-
Nigeria	78	49	15,8	40
Noruega	100	100	142,4	-
Nueva Zelanda	100	-	39	-
Omán	41	30	9,1	94
Países Bajos	100	100	89,6	-
Pakistán	95	87	68,1	52,9
Panamá	99	79	4,7	76,1
Papúa Nueva Guinea	88	32	-	-
Paraguay	93	59	53,5	74,7
Perú	87	62	19,9	73
Polonia	-	-	143,2	-
Portugal	-	-	43,4	-
Reino Unido	100	100	372,2	-
República Centroafricana	89	57	-	-
República Checa	-	-	72,9	-
República Eslovaca	100	100	30,4	-
República Dominicana	90	78	9,5	66,8
Ruanda	60	40	-	-
Rumania	91	16	51,9	-
Senegal	92	65	1,5	30,1
Sierra Leona	75	46	-	-
Singapur	100	-	31,3	100

Tabla 9.5: Continuación

	Acceso de la población a una fuente mejorada de agua		Producción de electricidad en kWh (miles de millones)	Acceso de la población a la electricidad (%)
	Urbana (%)	Rural (%)		
Siria	94	64	22,6	85,9
Sri Lanka	98	70	6,8	62
Sudáfrica	99	73	207,8	66,1
Sudán	86	69	2,4	30
Suecia	100	100	145,9	-
Suiza	100	100	66	-
Tailandia	95	81	96	82,1
Tanzania	90	57	2,3	10,5
Tayikistán	93	47	14,2	-
Togo	85	38	0	9
Trinidad y Tobago	-	-	5,5	99
Túnez	92	58	10,6	94,6
Turkmenistán	-	-	9,8	-
Turquía	81	86	124,9	-
Ucrania	100	94	171,4	-
Uganda	80	47	-	3,7
Uruguay	98	93	7,6	98
Uzbekistán	94	79	46,8	-
Venezuela	85	70	85,2	94
Vietnam	95	72	26,6	75,8
Yemen	74	68	3	50
Yugoslavia, Rep. Fed.	99	97	31,9	-
Zambia	88	48	7,8	12
Zimbabue	100	73	7	39,7
Mundo	94	71	15.346,5	-
Países de ingresos bajos	90	70	1.144,7	37,4
Países de ingresos medios	95	70	4.777,2	94
Países de ingresos medios a bajos	95	70	3.429,3	93,8
Países de ingresos medios a altos	94	69	1.347,9	94,7
Países de ingresos bajos y medios	93	70	5.921,9	65
Pacífico y Este de Asia	93	67	1.722,1	87,3
Europa y Asia Central	96	83	1.827,5	-
América Latina y Caribe	94	65	973,2	86,6
Norte de África y Oriente Medio	96	78	481,9	90,4
Sur de Asia	94	80	634,8	40,8
África subsahariana	83	46	282,4	24,6
Ingresos altos	-	-	9.424,6	-
Europa (Unión Monetaria Europea)	-	-	2.018	-

Fuente: Banco Mundial, 2003.

Tabla 9.6: Energía hidroeléctrica: capacidad a finales de 2002

	Capacidad bruta teórica TWh/año	Capacidad técnicamente explotable TWh/año	Capacidad económicamente explotable TWh/año
Angola	> 150	108	65
Argelia	12	5	-
Benín	2	1	-
Burkina Faso	1	n.a.	n.a.
Burundi	6	2	1
Camerún	294	115	103
Chad	n.a.	n.a.	-
Congo	> 125	> 50	-
Congo, Rep. Dem.	1.397	774	419
Costa de Marfil	46	12	2
Egipto	> 125	> 50	50
Etiopía	650	> 260	260
Gabón	200	80	33
Ghana	17	11	7
Guinea	26	19	15
Guinea-Bissau	1	n.a.	n.a.
Kenia	> 30	9	-
Lesoto	5	2	-
Liberia	28	11	-
Madagascar	321	180	49
Malawi	15	6	-
Mali	> 12	> 5	-
Marruecos	12	5	4
Mauricio	n.a.	n.a.	-
Mozambique	50	38	32
Namibia	25	10	2
Níger	> 3	> 1	1
Nigeria	43	32	30
República Centroafricana	7	3	-
Ruanda	1	n.a.	-
Senegal	11	4	2
Sierra Leona	17	7	-
Somalia	2	1	-
Sudáfrica	73	14	5
Sudán	48	19	2
Suazilandia	4	1	n.a.
Tanzania	39	20	3
Togo	4	2	-
Túnez	1	n.a.	n.a.
Uganda	> 18	> 13	-
Zambia	52	29	11
Zimbabue	19	18	-
Total África	> 3.892	> 1.917	-
Belice	1	n.a.	n.a.
Canadá	1.284	948	522
Costa Rica	223	43	20
Cuba	3	1	-
Dominica	n.a.	n.a.	n.a.
El Salvador	7	5	2
Estados Unidos	4.485	1.752	501
Granada (país)	n.a.	n.a.	n.a.
Groenlandia	800	14	-

Tabla 9.6: Continuación

	Capacidad bruta teórica TWh/año	Capacidad técnicamente explotable TWh/año	Capacidad económicamente explotable TWh/año
Guatemala	54	22	-
Haití	4	1	n.a.
Honduras	16	7	-
Jamaica	1	n.a.	-
México	135	49	32
Nicaragua	33	10	7
Panamá	26	> 12	12
República Dominicana	50	9	6
Total Norteamérica	7.122	> 2.873	-
Argentina	172	130	-
Bolivia	178	126	50
Brasil	3.040	1.488	811
Chile	227	162	-
Colombia	1.000	200	140
Ecuador	167	134	106
Guayana	64	> 26	26
Paraguay	111	85	68
Perú	1.577	> 260	260
Suriname	32	13	-
Uruguay	32	10	-
Venezuela	320	246	130
Total Sudamérica	6.920	> 2.880	-
Armenia	22	8	6
Azerbaiyán	44	16	7
Bangladesh	5	2	-
Bután	263	70	56
Camboya	88	11	5
China	5.920	1.920	1.270
Chipre	59	24	-
Corea, Rep.	52	26	19
Federación Rusa	2.295	1.670	852
Filipinas	47	20	18
Georgia	139	68	32
India	2.638	660	-
Indonesia	2.147	402	40
Japón	718	136	114
Kazajstán	163	62	27
Kirguistán	163	99	55
Laos	233	63	-
Malasia	230	123	-
Mongolia	56	22	-
Myanmar	877	130	-
Nepal	727	394	221
Pakistán	307	263	-
Sri Lanka	9	7	5
Tailandia	18	16	15
Taiwán, China	103	20	8
Tayikistán	527	> 264	264
Turquía	433	216	126
Turkmenistán	24	5	2
Uzbekistán	88	27	15
Vietnam	300	100	90
Total Asia	18.695	> 6.844	-



Tabla 9.6: Continuación

	Capacidad bruta teórica TWh/año	Capacidad técnicamente explotable TWh/año	Capacidad económicamente explotable TWh/año
Albania	40	15	6
Alemania	120	25	20
Austria	75	> 56	56
Bélgica	1	n.a.	n.a.
Bielorrusia	7	3	1
Bosnia Herzegovina	60	24	19
Bulgaria	27	15	12
Croacia	10	9	8
Dinamarca	n.a.	n.a.	n.a.
Eslovaquia	10	7	7
Eslovenia	13	9	6
España	138	70	41
Estonia	2	n.a.	-
Finlandia	48	25	20
Francia	270	100	70
Grecia	80	15	12
Hungría	7	5	-
Islandia	184	64	40
Islas Feroe	1	n.a.	n.a.
Irlanda	1	1	1
Italia	340	105	65
Letonia	7	6	5
Lituania	6	2	1
Luxemburgo	n.a.	n.a.	n.a.
Macedonia, Ex Rep. Yugoslava	9	6	-
Moldavia	2	1	1
Noruega	600	200	187
Países Bajos	1	n.a.	n.a.
Polonia	23	14	7
Portugal	32	25	20
Reino Unido	40	3	1
República Checa	12	4	-
Rumania	70	40	30
Serbia y Montenegro	37	27	24
Suecia	176	130	90
Suiza	144	41	35
Ucrania	45	24	17
Total Europa	2.638	> 1.071	-
Irán	176	> 50	50
Irak	225	90	67
Israel	125	50	-
Jordania	n.a.	n.a.	n.a.
Libano	2	1	n.a.
Siria	5	4	4
Total Oriente Medio	533	> 195	-
Australia	265	> 30	30
Fiyi	3	1	-
Islas Salomón	2	> 1	-
Nueva Caledonia	2	1	n.a.
Nueva Zelanda	46	37	24
Papúa Nueva Guinea	175	49	15
Polinesia Francesa	n.a.	n.a.	n.a.

Tabla 9.6: Continuación

	Capacidad bruta teórica TWh/año	Capacidad técnicamente explotable TWh/año	Capacidad económicamente explotable TWh/año
Samoa	n.a.	n.a.	-
Total Oceanía	493	> 119	-
TOTAL MUNDO	> 40.293	> 15.899	-

n.a.= no aplicable debido a la topografía plana

- = información no disponible

Notas:

1. La cuantificación de la capacidad hidroeléctrica no está disponible en el caso de Afganistán, Comoras, Guadalupe, Guayana Francesa, Guinea Ecuatorial, Mauritania, Palau, Puerto Rico, República Democrática Popular de Corea, Reunión, Santo Tomé y Príncipe y San Vicente y Granadinas.
2. Debido a que los datos disponibles sobre la capacidad económicamente explotable no cubren todos los países, los totales regionales y mundiales no aparecen para esta categoría.

Fuentes: The International Journal on Hydropower and Dams; Comités miembros de la Asociación Internacional de Hidroelectricidad, 2003; Hydropower Dams World Atlas 2003.

Bibliografía y sitios web

Banco Mundial. *Indicadores del Desarrollo Mundial 2003*. Nueva York, Banco Mundial.

CEPA (Comisión Económica para África de las Naciones Unidas). 2004. *Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en África*. Addis Abeba, CEPA.

DOE (Departamento de Energía de Estados Unidos). 2004. *Improving Pumping System Performance: A Sourcebook for Industry*. Washington DC, EE. UU., DOE, 2ª edición.

Martinot, E. 2002. Indicators of investment and capacity for renewable energy. *Renewable Energy in the World*. Vol. Sept./Oct.

Naciones Unidas. 2002. Plan de Aplicación de Johannesburgo. www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/WSSD_PlanI mpl.pdf

NRDC (Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales). 2004. *Energy down the Drain*. Nueva York, NRDC.

WRI (Instituto de Recursos Mundiales). Climate Analysis Indicators Tool, Washington, DC.

Agencia Internacional de Energía, Centro sobre el Carbón: www.iea-coal.org.uk

Agencia Internacional de Energía, Estadísticas sobre energía: www.iea.org/Textbase/stats/

Alianza para el Ahorro de Energía: www.ase.org

AQUASTAT, de la FAO :

<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/main/indexesp.stm>

Asociación Internacional de Hidroelectricidad: www.hydropower.org

Desinfección Solar del Agua (SoDis): www.sodis.ch

International Networking on Small Hydropower: www.inshp.org

IT Power: www.itpower.co.uk

ONU: www.unido.org

Purificadores solares de agua Naiade: www.nedapnaiade.com

WCD (Comisión Mundial sobre Presas): www.dams.org

WRI (Instituto de Recursos Mundiales): www.wri.org

WRI (Instituto de Recursos Mundiales): Indicadores de análisis climático, datos sobre intensidad de carbono para la producción de electricidad en 2002, disponibles en línea en cait.wri.org/



