



México 2006 IV Foro Mundial del Agua

Acciones
locales
para un
reto global

**APLICACIÓN DE LA CIENCIA, LA
TECNOLOGÍA Y EL CONOCIMIENTO**





Aplicación de la Ciencia, la Tecnología y el Conocimiento

DOCUMENTO BASE
PERSPECTIVA TRANSVERSAL D
APLICACIÓN DE LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y EL
CONOCIMIENTO
IV FORO MUNDIAL DEL AGUA
CIUDAD DE MÉXICO, MARZO DE 2006

ESTE DOCUMENTO FUE PREPARADO POR EL INSTITUTO
MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA CON LA
CONTRIBUCIÓN DE LA ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DEL
AGUA

Para avanzar hacia un desarrollo sustentable, los encargados de tomar decisiones en todos los niveles de gobierno necesitarán hacer selecciones informadas entre opciones que frecuentemente están en conflicto y son inciertas. Estas decisiones se pueden hacer de la mejor manera posible si se aprovechan los beneficios de la ciencia, la tecnología y el conocimiento.

Mientras en los países en vías de desarrollo la ciencia y tecnología tienen gran dependencia del Estado, el cual aporta más del 60% del financiamiento, en los países desarrollados el origen del financiamiento y la ejecución de las actividades científicas y tecnológicas están a cargo de las empresas privadas en más de las dos terceras partes.

Las empresas transforman los conocimientos científicos y tecnológicos en bienes y servicios, pero el Estado desempeña un papel esencial en la promoción de la aplicación de la ciencia y la tecnología.

Para crear la capacidad en ciencia, tecnología y conocimiento es necesario ampliar el acceso a la educación superior. Desafortunadamente, en varios países hay pruebas tangibles sobre la disminución del interés entre la gente joven en las matemáticas y las ciencias naturales, así como un descenso en el número de graduados en ciencia e ingeniería. Esta situación puede provocar una escasez inminente de científicos e ingenieros.

1. EL PAPEL Y LA IMPORTANCIA DE LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y EL CONOCIMIENTO.

No existe nada más fundamental para la vida que el agua. A través del tiempo, el aprovechamiento del agua ha evolucionado con las sociedades en el marco de distintas concepciones sobre los propósitos y modelos de progreso. Los problemas actuales del desarrollo se ligan simultáneamente a objetivos ambientales y a la aspiración de erradicar situaciones de marginalidad y pobreza que se presentan en muchos países. Se plantea entonces el concepto de desarrollo sustentable, el cual se asocia a la gestión de los recursos naturales y a la orientación del cambio tecnológico e institucional, incluida la adecuación de los marcos jurídicos, de tal manera que se asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas con el debido cuidado del ambiente.

Para avanzar hacia un desarrollo sustentable, los encargados de tomar decisiones en todos los niveles de gobierno necesitarán hacer selecciones informadas entre opciones que frecuentemente están en conflicto y son inciertas. Estas decisiones se pueden hacer de la mejor manera posible si se aprovechan los beneficios de la ciencia, la tecnología y el conocimiento.

La ciencia, la tecnología y el conocimiento impregnan casi cada aspecto de la vida. Recordando a Alfred

Recuadro 1. Bombas de pedal en Asia.

Las bombas de pedal, tecnologías sencillas accionadas por los seres humanos, son un ejemplo de tecnología asiática que ha puesto el riego al alcance de millones de campesinos pequeños y marginales; han tenido éxito particularmente en Bangladesh, pero también se utilizaron en la India, Vietnam y Camboya. En 1991, medio millón de bombas de pedal se utilizaron en Bangladesh. Con un beneficio anual por usuario calculado en alrededor de 100 dólares americanos, las 500 mil bombas de pedal representaron una tercera parte de la contribución total del sector agrícola al Producto Interno Bruto del país.

Marshall, destacado economista británico del siglo XIX, el conocimiento es nuestro motor más potente para la producción. Esta aseveración permanece y actualmente se reconoce que la fuerza impulsora a largo plazo del crecimiento económico moderno ha sido el adelanto tecnológico con base en la ciencia¹. La ciencia, la tecnología y el conocimiento contribuyen significativamente a elevar la productividad y competitividad de los países, pero su aporte al desarrollo es mucho más amplio, contribuye a elevar la calidad de vida, solucionar problemas del medio ambiente y aumentar la eficiencia de la administración del Estado. Desde luego, el talento y el conocimiento humano son esenciales para el avance de la ciencia y la innovación, así como para la generación del crecimiento de la productividad.

El desarrollo es un proceso de aprendizaje que implica una experimentación considerable. Hay ejemplos de los países en vías de desarrollo que aliviaron su pobreza y crecieron sus economías en las décadas recientes, especialmente en la región del Pacífico Asiático.

En cada caso, la ciencia, la tecnología y el conocimiento fueron factores cruciales en su éxito². Pero la ciencia, la tecnología y el conocimiento tienen un costo, son el fruto de grandes inversiones sociales en educación, investigación científica y progreso tecnológico enfocado específicamente a fortalecer los sistemas nacionales de innovación³.

El panorama global de la ciencia, la tecnología y el conocimiento presenta contrastes marcados.

Mientras los países de altos ingresos hacen inversiones públicas especiales en la educación superior y en la capacidad científica y tecnológica, la mayoría de los países pobres han sido espectadores o usuarios, en el mejor de los casos, de los adelantos tecnológicos producidos en los países de altos ingresos.

Los países pobres no tienen grandes comunidades científicas y sus científicos padecen una escasez crónica

Recuadro 2. Agua de escarabajo en África.

Imitando los trucos hidráulicos de los escarabajos, un grupo de científicos británicos ha desarrollado materiales únicos para recolectar agua. Un laminado plástico inspirado en la espalda del escarabajo provee una alternativa para la recolección de agua para la agricultura y el consumo en regiones áridas. La alternativa también podría servir para mejorar los procesos de destilación y deshumidificación en aparatos como los acondicionadores de aire u otros.

de financiamiento, por lo que muchos de los mejor calificados se marchan al exterior en busca de colegas y apoyo para sus investigaciones científicas.

Otra gran diferencia es que mientras en los países en vías de desarrollo la ciencia y tecnología tienen gran dependencia del Estado, el cual aporta más del 60% del financiamiento, en los países desarrollados el origen del financiamiento y la ejecución de las actividades científicas y tecnológicas están a cargo de las empresas privadas en más de las dos terceras partes⁴.

Las patentes son los mejores indicadores disponibles de la producción de innovaciones. En este sentido, existe una significativa correlación entre el número de patentes y el gasto financiado por la industria para investigación y desarrollo. Por todo esto los países con un alto nivel de financiamiento industrial para la investigación y desarrollo también son los que tienen la mayor cantidad de patentes⁵.

Las empresas transforman los conocimientos científicos y tecnológicos en bienes y servicios, pero el Estado desempeña un papel esencial en la promoción de la aplicación de la ciencia y la tecnología. En efecto, corresponde al Estado asumir un papel activo para: fijar los grandes objetivos y prioridades; asignar los recursos públicos en ciencia y tecnología; implantar mecanismos e instrumentos de política científica y tecnológica; fomentar normas y aprovechar los procesos de licitación para estimular la innovación empresarial; invertir en la infraestructura que apoye a las empresas pequeñas y medianas; ofrecer incentivos fiscales a la inversión privada en ciencia y tecnología; ampliar y establecer centros de investigación enfocados en necesidades específicas a las que asignen una prioridad esencial en el largo plazo, como el agua, la agricultura o la salud pública, entre otras; así como mejorar el acceso al crédito y otras formas de capital.

A la vez, el Estado debe considerar los efectos que sus decisiones en otros sectores de la actividad gubernamental

puedan tener en relación al desarrollo científico y tecnológico.

La presencia del Estado también es necesaria para fomentar la creatividad y la innovación, ampliar la fuente del conocimiento científico para el beneficio de la sociedad y apoyar las actividades de investigación y desarrollo en áreas donde los mecanismos de mercado son inadecuados o escasos para responder a las demandas sociales o para resolver objetivos específicos del gobierno. A la vez, la incorporación de personal altamente capacitado favorece la creación de una masa crítica, indispensable para la toma inteligente de decisiones.

Para crear la capacidad en ciencia, tecnología y conocimiento es necesario ampliar el acceso a la educación superior. Desafortunadamente, en varios países hay pruebas tangibles sobre la disminución del interés entre la gente joven en matemáticas y las ciencias naturales, así como un descenso en el número de graduados en ciencia e ingeniería. Esto ha levantado preocupaciones de una escasez inminente o futura de científicos e ingenieros.

Recuadro 3. Planta acuática puede eliminar el arsénico del agua.

El polvo de las raíces secas del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) puede remover altas concentraciones de arsénico tóxico del agua contaminada. Después de una hora de adicionadas las raíces de la planta al agua, el nivel de arsénico baja de 200 microgramos por litro a 10 microgramos por litro (límite aceptado como seguro). La investigación fue realizada en el Reino Unido y la tecnología está siendo usada en Bangladesh.

En los países donde la inversión de las empresas es débil en ciencia, tecnología y conocimiento, la demanda para el talento científico se restringe y limita la capacidad de las naciones para aprovechar sus inversiones en capital humano, así como puede incluso generar la emigración de los investigadores jóvenes en busca de oportunidades. La atención a este problema debe tener una importancia creciente para los gobiernos.

Por su parte, las universidades deberían adquirir un carácter más emprendedor y orientado a resolver los desafíos clave del desarrollo. Las universidades pueden participar en parques tecnológicos y servicios de formación de empresas, pueden introducir capacitación y pasantías empresariales en sus planes de estudio y pueden alentar a los estudiantes a llevar la investigación

de la universidad a las empresas. Una de las universidades más prestigiadas del mundo, el MIT, tiene una larga y exitosa tradición de propiciar el establecimiento de empresas de base tecnológica.

Las universidades deben abordar la solución de los problemas de la ciencia y la tecnología de manera más interdisciplinaria para tener una perspectiva más amplia y estar en posibilidad de enfrentar los retos que plantea el futuro inmediato. Esta aseveración es particularmente pertinente en lo tocante al agua. Pero, la mayoría de las universidades tendrían que transformarse para ocuparse de estas nuevas funciones.

Los cambios en los modelos de desarrollo, la presencia del Estado, más regulador que productor, la importancia del sector privado como motor de la innovación y el papel relevante de la sociedad, hacen imprescindible una amplia participación en CTC de todos los actores sociales involucrados.

Desde su adopción en la Cumbre del Milenio de Naciones Unidas en 2000, los Objetivos del Desarrollo del Milenio (MDGs por sus siglas en inglés) se han convertido en el estándar internacional de referencia para medir y dar seguimiento a las mejoras en las condiciones humanas en los países en vías de desarrollo. El logro de los Objetivos exige un esfuerzo especial en el ámbito mundial para crear capacidad en ciencia, tecnología y conocimiento en los países más pobres, así como orientar la investigación y el desarrollo hacia los desafíos específicos que enfrentan los pobres.

El Objetivo 8 de las ODM se refiere a "fomentar una asociación mundial para el desarrollo", y abarca las metas 12 a 18⁶. En particular, con respecto a la ciencia, la tecnología y el conocimiento, la Meta 18 encarga a la comunidad internacional en cooperación con el sector privado, hacer disponible las ventajas de nuevas tecnologías, especialmente de la información y de la comunicación.

Se reconoce el papel significativo que la ciencia, la tecnología y el conocimiento pueden desempeñar en cumplir las metas. Pero es necesario que los encargados de tomar decisiones conozcan las lecciones experimentadas localmente en un marco global y participen en un proceso de aprendizaje continuo. Al respecto, se ha subrayado la necesidad de crear las sociedades internacionales que permitan un adiestramiento compartido.

La disminución de la desigualdad en ciencia, tecnología y conocimiento requerirá medidas deliberadas para construir las capacidades científicas y tecnológicas de los países pobres.

Pero, más allá de las declaraciones orientadoras que se han expresado en diferentes foros internacionales, es el momento de pasar del discurso a la acción.



2. OPCIONES DE CAMBIO



Si la ciencia, la tecnología y el conocimiento efectivamente pueden marcar un cambio significativo en el desarrollo de las naciones, entonces no se puede continuar con la tendencia actual en donde lo único que resulta cierto es que las diferencias entre los países se amplificarán. Ello perjudicaría, en general, las posibilidades de desarrollo y, en particular, frenaría la viabilidad de un desarrollo sustentable de los recursos hídricos en los países con desarrollo menor.

Con respecto a la ciencia, la tecnología, el conocimiento y el agua, la Ilustración 1 presenta un esquema en donde aparecen los principales sistemas –educativo, gubernamental, productivo y social–, las fases del proceso científico y tecnológico, así como la interrelación entre la ciencia, la tecnología y el conocimiento, y el agua y la sociedad, en donde los vínculos son la innovación y el conocimiento.

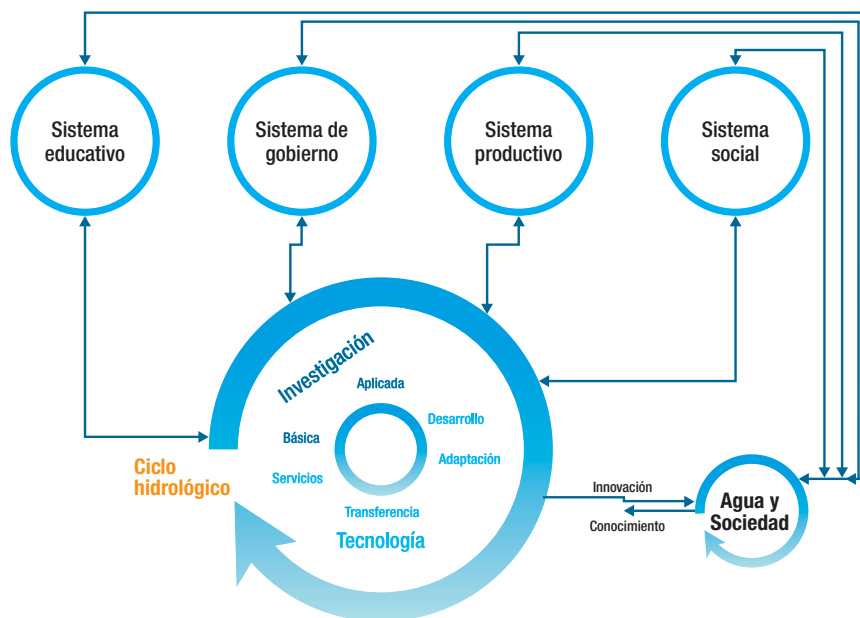
Si se analizan las opciones para fortalecer la ciencia, la tecnología y el conocimiento que se han utilizado

recientemente para que surja el cambio deseado, se encuentran principalmente las cuatro siguientes:

- Programas regionales o interregionales en ciencia, tecnología y conocimiento.
- Reformas nacionales en ciencia, tecnología y conocimiento.
- Redes de Cooperación Internacional con base en un tema hídrico.
- Creación de Centros de Investigación Hídrica de Excelencia.

Las dos primeras son de carácter general en ciencia, tecnología y conocimiento y las dos últimas se refieren específicamente al agua. Adicionalmente, se incluyen algunos ejemplos, aunque se observa que no hay un Directorio Global que facilite su localización, al menos para el caso del agua.

Ilustración 1. Relación entre la ciencia, la tecnología y el conocimiento, y el agua y la sociedad.



Programas regionales o interregionales en CTC. Ejemplos de estos programas se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 1. Ejemplos de programas regionales o interregionales en CTC.

Programa	Referencia
Unión Europea	European Union, Sixth EU Framework Programme for Research and Technological Development (FP6). En Internet: http://fp6.cordis.lu/index.cfm?fuseaction=UserSite.FP6HomePage
América	Organización de Estados Americanos, Primera Reunión de Ministros y Altas Autoridades de Ciencia y Tecnología, Lima, Perú. 11-12 de noviembre de 2004.
África	NEPAD. The new partnership for Africa's development. October 2001.
La Unión Europea y EUA	European Communities, an impact assessment of the science and technology agreement concluded between the European Community and the United States of America. 2003.

Reformas nacionales en CTC. Ejemplos de estas reformas se tienen en la tabla siguiente:

Tabla 2. Ejemplos de países en donde se implantan reformas nacionales en CTC.

País	Referencia
República Popular de China	International Development Research Centre (Canada) and the State Science and Technology Commission (People's Republic of China), A Decade of Reform, Science and Technology Policy in China. IDRC 1997.
Japón	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, White Paper on Science and Technology. Japanese Government. 2004.
Brasil	The World Bank, Brazil, Science and Technology Reform Support Project - PADCT III. Report No: 31601.
Nigeria	United Nations Education, Science and Cultural Organisation, NIGERIA - UNESCO Collaboration on the Reform of Nigeria's science, technology and innovation system.

Redes de Cooperación Internacional con base en un tema hídrico. Ejemplos de esas redes se presentan en la tabla siguiente;

Tabla 3. Ejemplos de redes de Cooperación Internacional.

Red de Cooperación Internacional	Referencia
Coalición Global de los Centros de Recursos del Agua y del Saneamiento (STREAMS)	IRC International Water and Sanitation Centre, Work in progress Streams of Knowledge Coalition. October 2001.
Red Interamericana de Recursos Hídricos	http://www.iwrn.net/index.php
Réseau International des Organismes de Bassin	http://www.riob.org/riobesp.htm
The Global Water System Project-Asia	http://www.chikyu.ac.jp/USE/GWSP/GWSPasia.htm
International Water Management Institute-Africa y Asia	http://www.iwmi.cgiar.org/

Creación de Centros de Investigación Hídrica de Excelencia. Ejemplos de centros de excelencia se incluyen en la tabla siguiente:

Tabla 4. Ejemplos de centros de excelencia.

Centros de Excelencia	Referencia
Bulgaria	Centro de gestión y desarrollo sostenible de la región del Mar Negro (CESUM-BS) http://www.io-bas.bg/cesum-bs/
Bolivia	Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua http://www.centroagua.org/
Chile	Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe http://www.cazalac.org/mision.html
India	The National Institute of Hydrology http://www.angelfire.com/bc/nihhrrc/Roorkee/
Kenia	African Centre for Technology Studies http://www.acts.or.ke/index.html
México	Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México http://www.iingen.unam.mx/default.aspx , Instituto Mexicano de Tecnología del Agua http://www.imta.mx/ , Centro Interamericano de Recursos del Agua http://cira.uaemex.mx/presentacion/descripcion.html
Sudáfrica	Water Research Commission http://www.wrc.org.za/index.htm

De las cuatro opciones analizadas, las reformas nacionales en ciencia, tecnología y conocimiento parecen las más recomendables y la creación o consolidación de los centros de excelencia pueden contribuir sustancialmente a sembrar la conciencia de la necesidad de un gran cambio para colocar a la innovación científica y tecnológica en el centro del proceso del desarrollo hídrico sustentable.

Recuadro 4. Plantas desalinizadoras de agua en Europa.

El gran salto desde las costosísimas desalinizadoras de los años setenta hasta lograr un precio accesible para la agricultura de alto valor agregado, ha sido posible por la drástica reducción de costos de la ósmosis inversa. Lo que costaba dos y hasta tres euros por metro cúbico, se ha reducido a entre 0.70 y 0.45 euros a pie de planta. En este momento y con más de 900 plantas en explotación, España ocupa el cuarto puesto mundial en capacidad de desalinización por detrás de Arabia Saudita, los Emiratos Árabes Unidos y Estados Unidos. España está montando en Londres la mayor desalinizadora de Europa, para 150,000 metros cúbicos diarios.

Los programas regionales o interregionales en ciencia, tecnología y conocimiento y las redes de cooperación internacional también contribuyen a la innovación científica y tecnológica y, en algunos casos, conviene

reforzar sus canales de difusión para que alcancen un mayor número de interesados en los diversos temas.

Es crucial entender que si bien los gobiernos son los promotores del cambio en ciencia, tecnología y conocimiento, el sector productivo debe asumir el rol de motor de la innovación.

A continuación se hace un recuento del papel que puede y debe tener la ciencia, la tecnología y el conocimiento en la atención de la problemática hídrica asociada con cada uno de los ejes temáticos del IV Foro Mundial del Agua. A la vez, se incluyen algunos ejemplos de acciones locales exitosas en diversas partes del mundo.

3. EJE TEMÁTICO 1: AGUA PARA EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO



Una prioridad constante del ser humano a lo largo de su historia ha sido el aprovechamiento de todo su potencial por medio de un suministro adecuado y la disminución de sus efectos destructivos, de tal manera que pueda impulsar más que obstaculizar el crecimiento económico. La clave para lograrlo es establecer una plataforma mínima que permita crear una infraestructura hidráulica segura, así como las instituciones y la capacidad para operarla y mantenerla⁷.

Por debajo de esta plataforma mínima, la sociedad y la economía se encuentran afectadas de manera inaceptable por los fenómenos naturales —por una combinación de desastres y falta de confianza en el suministro de agua para la producción de bienes, servicios y medios de subsistencia. Por debajo de este nivel, el agua impide el crecimiento económico; por encima de este nivel el agua impulsa el crecimiento general.

Las consecuencias del planteamiento anterior tienen múltiples implicaciones. A continuación se destacan

algunas de las relacionadas con la ciencia, la tecnología y el conocimiento.

La recuperación de la inversión en recursos hídricos, particularmente en países con una alta variabilidad hidrológica, puede ser muy baja y las herramientas estándar para el análisis económico de los proyectos, como las tasas marginales de rendimiento y la capacidad de pago que los gobiernos y los donantes aplican comúnmente, pueden ser inapropiadas para evaluar las inversiones iniciales cruciales, así como su aplicación puede de hecho impedir el crecimiento. En este tema se requiere investigación.

En todas las épocas se ha invertido de manera conjunta en instituciones e infraestructura, pero cuando la capacidad de la infraestructura hidráulica es baja, las inversiones en este sector se convierten en una prioridad. Por otra parte, la inversión en desarrollo institucional y fortalecimiento de las capacidades se vuelve más importante conforme se construye

Recuadro 5. Nuevas tecnologías para la gestión del agua en la zona de riego del Canal de Aragón y Cataluña

De las aproximadamente 3,700,000 has. de regadíos españoles, hay un 29% que son regadíos tradicionales e históricos donde la incorporación de nuevas tecnologías para la gestión del agua se considera una acción necesaria para la sustentabilidad de las mismas. El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX ha realizado un trabajo piloto para la incorporación de nuevas tecnologías para la gestión del agua en la zona de riego del Canal de Aragón y Cataluña, que cuenta con 100 años de antigüedad y una superficie de algo más de 98,000 ha.

El diseño hidráulico original de la zona estaba dirigido principalmente al riego de cereales de invierno, con el objetivo de paliar la hambruna existente en la comarca de La Litera. A lo largo de su historia, los planteamientos iniciales han ido cambiando y la dedicación productiva ha variado hacia cultivos como la alfalfa, maíz, frutales y vid, que tienen un valor comercial mayor pero con unas demandas hídricas diferentes en cuantía y distribución de las inicialmente planteadas. Esto ha hecho que tenga una gran importancia la gestión del agua en la zona, pues aún teniendo recursos hay dificultades para satisfacer la demanda de riego debido a múltiples causas como la capacidad de la infraestructura, su estado y los métodos de riego utilizados.

El Centro de Estudios Hidrográficos, como herramienta de apoyo a la decisión de los gestores del agua en la zona, ha creado un sistema de información geográfica donde está caracterizada la zona de riego. Éste se alimenta con imágenes de satélite para el seguimiento de la zona regada y de la dedicación productiva. Con esta información se ha creado un modelo para la optimización de la distribución de los recursos hídricos disponibles para atender las demandas de riego y se han formulado una serie de recomendaciones encaminadas, en su mayoría, a mejorar la gestión de la demandas.

una infraestructura mayor y más compleja. Esto sugiere que, mientras los países desarrollados se enfocan en la implementación de una gestión integrada de los recursos hídricos, los países en desarrollo deberían adoptar un enfoque administrativo pragmático —con base en principios que apliquen un mayor énfasis en las inversiones concurrentes en infraestructura. La administración y el desarrollo deben ir de la mano, pero con una mayor infraestructura para manejar el agua, el establecimiento de instituciones más sólidas y mejores prácticas administrativas se vuelve posible, necesaria y redituable.

En un mundo cada vez más globalizado existen presiones sobre las instituciones de los países en desarrollo para adoptar los valores de los países desarrollados. No obstante, dentro de esta dinámica estos últimos no aprecian plenamente los retos urgentes y con frecuencia colosales que los países en desarrollo enfrentan.

A su vez los países en desarrollo no aprecian plenamente lo mucho que sus valores cambiarán con el crecimiento y por lo tanto no incluyen estas consideraciones en sus planes de desarrollo.

El punto esencial es que la infraestructura hidráulica se caracteriza por su longevidad y por su amplio impacto en los ambientes y las sociedades en las que se construye. En prácticamente todos los países en desarrollo la demanda de agua, alimentos y energía sigue creciendo y no existe ninguna duda en cuanto a que la infraestructura hidráulica es necesaria.

Se plantean, entre otras, las siguientes interrogantes en donde la ciencia, la tecnología y el conocimiento deben ayudar a encontrar las respuestas:

- ¿Pueden las opciones seleccionarse y diseñarse para que se adapten a los cambios en los valores y las prioridades?
- ¿Se pueden tomar ideas de las lecciones de los países desarrollados que ayuden a diseñar y operar una infraestructura diferente o alternativas para la infraestructura en su conjunto, que permitan alcanzar la seguridad hídrica, pero que sean menos dañinas para la sociedad y el medio ambiente?
- ¿Qué tan importante es el papel del agua en el crecimiento —positivo y negativo— y cuáles son las características hidrológicas clave (escasez, exceso, estacionalidad, variabilidad)?
- ¿La infraestructura hidráulica de un país es segura o insegura?
- ¿Cuál es la escala de inversiones en infraestructura hidráulica?
- ¿Cuál es la inversión social y la política en las instituciones para el manejo del agua?
- ¿Cuál es el balance apropiado entre el desarrollo de instituciones y de infraestructura?
- ¿Cuáles serían los problemas clave actuales y futuros para el aprovechamiento de los recursos hídricos y el crecimiento?

En relación con la última interrogante, también se requieren respuestas sobre las medidas de adaptación que requieren las sociedades ante la amenaza del cambio climático.

Recuadro 6. Tratamiento de la contaminación natural del agua subterránea

Muy a menudo hay presencia de minerales y de metales en el agua bombeada de capas profundas de acuíferos. Tal es el caso en México, donde se ha observado la contaminación natural del agua subterránea con el hierro, manganeso y en algunos casos, arsénico. Durante los últimos años, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), ha estado ejecutando un programa de investigación y desarrollo para abordar este problema.

Los esfuerzos se han dirigido a desarrollar una tecnología de bajo costo, simple de operar y eficaz que cumple los estándares para el agua potable así como para otros usos. El IMTA patentó un proceso de tratamiento por filtración lenta que ya se ha empleado en la construcción de varias plantas de tratamiento del agua, entre ellas dos con caudales grandes de diseño: Ramal Peñón Texcoco en el Estado de México (630 l/s) y Mazatlán en el estado de Sinaloa (1,500 l/s).

Recientemente, el IMTA diseñó una planta para una plantación de mango que extrae agua subterránea contaminada con hierro y manganeso en Mazatán, Chiapas. La plantación tiene una capacidad de producción de un millón de cajas para la exportación en cada estación agrícola. El agua sin tratamiento que fue utilizada para lavar las frutas del mango causaba manchas en su cáscara. Esta situación provocó el rechazo del producto en el mercado de los EU, que es el lugar más importante para la exportación de la granja, en donde laboran 300 trabajadores. Puesto que Mazatán es una comunidad pequeña, el bienestar de la plantación y de sus empleados es crítico para el desarrollo de la economía local. Cada trabajador recibe 150 dólares de EU por semana, que es un salario muy atractivo para la región. La plantación también considera ampliar su operación. Todas estas ventajas económicas fueron comprometidas por el efecto que el hierro y el manganeso tenían en la cáscara de las frutas. La planta diseñada por el IMTA ha solucionado el problema a bajo costo y los dueños de la plantación están muy satisfechos con los resultados.

4. EJE TEMÁTICO 2: INSTRUMENTACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Al examinar su enfoque actual respecto al agua muchos países han encontrado:

- Que no han estado considerando la asignación de manera suficiente desde el punto de vista estratégico, a la luz de las metas nacionales,
- Que la asignación del agua, aunque se deje al nivel apropiado más bajo, requiere ser guiada por un sistema que haya sido concebido a nivel de cuenca fluvial o nacional, y
- Que los vínculos entre las decisiones de asignación y el desarrollo nacional y el proceso de planificación económica son débiles o inexistentes.

Un enfoque de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) otorga libertad a los países para que consideren la asignación dentro del contexto de un entorno más completo de las metas de desarrollo sostenible. Rara vez se logra la asignación estratégica por medio de una orden administrativa⁸.

Lo más común es que se logre de forma indirecta—a menudo por medio de resultados en la optimización del agua—al utilizar herramientas como el precio del agua y aranceles, al introducir incentivos y subsidios adecuados y al eliminar aquéllos que son considerados como nocivos, tanto dentro como fuera del sector del agua.

Recuadro 7. Asignación óptima de agua en la cuenca del río Lerma-Chapala.

La cuenca de Lerma-Chapala es una de las más importantes de México. La corriente principal es el río de Lerma, el cual descarga en el lago de Chapala, el mayor cuerpo de agua superficial del país. La cuenca ha experimentado un número importante de problemas relacionados con el agua, por ejemplo: i) extracciones excesivas del agua superficial para la agricultura, que ha producido una disminución alarmante en los niveles del agua en el lago durante periodos de sequía; ii) sobreexplotación del acuífero, que ha producido una disminución significativa del nivel de aguas freáticas; prácticas agrícolas y tala de árboles, que han erosionado el suelo y la contaminación no puntual del agua; así como descargas de las aguas residuales municipales e industriales que no cumplen con los estándares ambientales, las cuales han contribuido al aumento de la contaminación del río y del lago. La cuenca incluye territorios de cinco estados del país: Estado de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco.

La mayoría de las áreas agrícolas irrigadas están situadas en Guanajuato, donde los agricultores se han opuesto a cualquier tentativa de disminuir la asignación del agua que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) les otorgó. Por otra parte, en Jalisco, ubicado en la parte baja de la cuenca, hay preocupación por la preservación del lago, tanto por razones ambientales, como porque representa la fuente de agua principal para su capital, la ciudad de Guadalajara, la cual es la segunda más grande de México. Las posiciones encontradas han causado conflicto intenso entre Guanajuato y Jalisco. El esquema de la asignación del agua que prevalecía no tenía un funcionamiento apropiado, particularmente en años de precipitación baja. Las negociaciones para modificar tal esquema se estancaron debido al conflicto existente. El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua desarrolló la simulación hídrica detallada de la cuenca y los modelos de optimización para la asignación, que permitieron a la CONAGUA y a los interesados en la cuenca construir un consenso una vez que fueron estudiados varios escenarios climáticos, de uso del agua y socioeconómicos con las herramientas científicas y tecnológicas desarrolladas por el IMTA.

Como resultado, un acuerdo nuevo para la asignación del uso sostenible del agua fue firmado por los gobernadores de los cinco estados en la cuenca, los usuarios del agua y el presidente de México, como testigo de honor. El acuerdo es operacional ahora e incluye una referencia explícita a los modelos de simulación y de optimización como herramientas para apoyar las decisiones. La ciencia y la tecnología demostraron ser imprescindibles para alcanzar un clima de confianza entre los interesados en la cuenca, así como para implantar los principios de la gestión integrada de los recursos hídricos en ella.

Para lograr un uso efectivo de la gama de herramientas de reasignación indirecta se requieren sistemas de análisis que la ciencia, la tecnología y el conocimiento pueden proporcionar. Otra forma de maximizar el bienestar económico y social que se deriva de estos recursos tan escasos es por medio de una mejora en la optimización en el uso del agua y los recursos relacionados —incluyendo los recursos financieros— y forma parte integral del enfoque de la GIRH.

Antes de simplemente suministrar más agua —lo que a menudo implica la construcción de infraestructura nueva y cara— el primer paso debería ser buscar oportunidades para mejorar su aprovechamiento.

Es importante reconocer que la ciencia, la tecnología y el conocimiento proporcionan un apoyo sólido con el uso de modelos y los sistemas que analizan los escenarios de diversas acciones estructurales y no-estructurales, así como las medidas que ayudan a predecir el impacto que resulta de decisiones o de las variaciones que pueden ocurrir en tiempo y espacio relacionado a la cantidad y a la calidad de los recursos de agua disponibles.

A la vez, la ciencia, la tecnología y el conocimiento con enfoque interdisciplinario deben orientar el desarrollo de las capacidades locales, tomando en cuenta su idiosincrasia.

La medición confiable a costos razonables, tanto de los inventarios del agua como de los usos o aprovechamientos y su calidad, es un campo en donde la ciencia, la tecnología y el conocimiento también pueden hacer aportaciones significativas.

También, se ha observado que por falta de información, conocimiento y recursos financieros, las tecnologías se aplican en ambientes físicos, sociales y económicos, que son diferentes de aquellos para los que fueron concebidas originalmente, una situación que conduce a impactos negativos subsecuentes en su operación y mantenimiento

Recuadro 8. Metodología y guías técnicas para la directiva marco del Agua

La aprobación de la Directiva Marco del Agua en diciembre de 2000 planteó una serie de retos técnicos, obligando a desarrollar nuevas metodologías que permitieran su implantación. El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, a través de un convenio de colaboración con el Ministerio de Medio Ambiente, ha participado en el desarrollo de estos trabajos, entre los que se podrían destacar los siguientes: —Desarrollo de un modelo de drenaje en SIG para toda España con tamaño de celda de 100 m. Este modelo ha servido de base para la realización de muchos de los trabajos requeridos; —Análisis de la problemática en la delimitación de demarcaciones hidrográficas; —Identificación y delimitación de masas de agua naturales y muy modificadas; —Caracterización ambiental y tipificación de masas de agua. Extensa caracterización de las masas de agua con variables, tanto locales (climatológicas fundamentalmente) como variables que responden a las características de la cuenca (hidrológicas y fisicoquímicas), con el objeto de localizar las principales agrupaciones geográficas de las mismas que pudieran conformar las tipologías; —Estudios sobre presiones. Organización en bases de datos y coberturas SIG, así como procesado y acumulación de los indicadores de presión sobre la red de drenaje. —Selección de posibles zonas de referencia a partir del análisis de indicadores de presión.

Actualmente se continúa trabajando en las tareas de la Directiva Marco del agua, desarrollando metodología y guías técnicas que permitan su implantación de forma homogénea, así como en la realización de estudios de carácter general para toda España, como puede ser la evaluación de recursos en cantidad y calidad y el desarrollo del catálogo de medidas, al igual que los modelos que permitan optimizar los programas de medidas.

5. EJE TEMÁTICO 3: AGUA Y SANEAMIENTO PARA TODOS



El IV Foro Mundial del Agua incluye un tema específico asociado con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio para el suministro de agua y saneamiento.

En relación con esta meta, los gobiernos, sus sociedades civiles y socios del sector privado deben proporcionar soporte a una amplia gama de tecnologías de agua y saneamiento y niveles de servicios apropiados

desde el punto de vista técnico, social, ambiental y financiero.

En las tablas siguientes se muestra un resumen de las tecnologías para el abastecimiento del agua y para el saneamiento sostenible⁹.

Tabla 5. Resumen de las tecnologías para el abastecimiento del agua.

Fuente de agua	Infraestructura	Equipo	Tratamiento Requerido	Situaciones Aplicables
Agua superficial (ríos, corrientes, lagos)	Presas	Bombas eléctricas	Clarificación; incluye retiro de sólidos y turbiedad, desinfección, tratamiento preventivo contra la corrosión (acondicionamiento del agua)	Gran escala; para ciudades grandes o numerosas ciudades y comunidades
	Bombeo directo (lagos, ríos perennes, estanques) para almacenamiento en vasos superficiales adyacentes			
Agua subterránea	Pozos de diámetro pequeño	Bombas eléctricas y manuales	Principalmente desinfección para combatir la contaminación en el sistema de distribución	Sistemas de gran escala
	-Perforaciones			Instituciones
	-Pozos entubados			Usos domésticos y de pequeña irrigación
Pozos	Pozos de diámetro grande	Principalmente bombas manuales, en algunos casos eléctricas	Generalmente la desinfección es suficiente	Uso de comunidades en villas
	Pozos excavados			Usos domésticos
	Pozos mecánicamente excavados			
Agua subterránea	Caja protectora del manantial	Manantiales con caja protectora de fondo abierto y tuberías de desagüe derramando continuamente directamente a las tuberías de distribución o a los tanques de almacenamiento	Generalmente sin tratamiento porque esa agua normalmente es potable	Sitios rurales
Agua de manantial				

Tabla 5. Resumen de las tecnologías para el abastecimiento del agua.

Fuente de agua	Infraestructura	Equipo	Tratamiento Requerido	Situaciones Aplicables
Agua de lluvia	Captación en techos hacia tanques domésticos	Ninguno	Ninguno o desinfección simple	Islas sin recursos de agua superficial
	Captación en la superficie hacia estanques de almacenamiento	Bombas mecánicas simples		Comunidades rurales pequeñas Casas
Agua salina	Bombeo subterráneo o del mar	Bombas eléctricas	Desalación, incluyendo osmosis inversa	Áreas de escasez de agua con acceso al agua salina o de mar

Tabla 6. Algunas Tecnologías para el saneamiento sostenible

Tipo de sistema	Propósito	Opciones tecnológicas	Condiciones
Saneamiento en sitio	Disposición de excreta	Simple, sin ventilación, excusado de doble-fosa: se utiliza sólo una fosa a la vez mientras que el otro reposa hasta que el contenido se descompone completamente y es seguro de utilizar en la tierra	Uso bajo de agua; permeabilidad baja del suelo; nivel freático del agua bajo; densidad de viviendas bajo a medio
		Excusado con vertido de agua para limpieza con fosas gemelas ciegas, que alternativamente están en uso y en reposo; previsto para vaciarse	Uso medio de agua; lavado con agua; permeabilidad buena del suelo; nivel freático del agua bajo; densidad de viviendas bajo a medio
		Excusado con vertido de agua para limpieza más fosa séptica con fosas gemelas ciegas, que alternativamente están en uso y en reposo	Uso alto de agua; permeabilidad baja del suelo; nivel freático del agua alto; densidad de viviendas alto
		Excusado para composta (Ecosan)	Uso bajo de agua
	Disposición de agua residual	Sistema de fosas gemelas ciegas separadas para disposición del cieno	Uso medio - alto de agua; saneamiento en sitio para disponer la excreta
Saneamiento fuera del lugar	Conducción del agua residual	Baño con excusado de volumen bajo de agua para limpieza con alcantarillado simplificado o con el diámetro pequeño, poco profundo, y alcantarillas de gradiente horizontal	Uso alto de agua; permeabilidad baja del suelo; densidad de viviendas alto; nivel freático del agua alto; saneamiento en sitio para disponer la excreta
	Tratamiento primario	Baño con excusado de vertido de agua para limpieza o de bajo volumen de agua con tanque Imhoff y camas secadoras de cieno	Comunidades pequeñas y pueblos con uso de agua alto
		Excusado de vertido de bajo volumen agua para limpieza con tratamiento primario convencional, cribado, remoción de sólidos y sedimentación	Pueblos medios a grandes y mega ciudades
	Tratamiento secundario	Filtros de goteo con digestores lodo de composta del lodo con basura	Solución de largo plazo para la disposición de aguas residuales en ciudades medianas y grandes
	Opciones de tratamiento	Construcción de pantanos	Áreas donde el riesgo por el mal olor es bajo
		Pantanos y tanques de estabilización de residuos	

Recuadro 9. Saneamiento de la cuenca del Lago de Pátzcuaro

La cuenca del lago de Pátzcuaro, situada en Michoacán, México, es uno de los lugares más emblemáticos del país, debido a su belleza natural. Desafortunadamente, las prácticas no apropiadas de la explotación de los recursos naturales han producido su degradación. Un programa ambiental para la recuperación de la cuenca fue establecido, con la participación del gobierno del estado de Michoacán, de cuatro gobiernos municipales, de una fundación privada y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, que proporciona la coordinación científica y tecnológica total del programa. Un aspecto crítico del programa ha sido el desarrollo, la adaptación y la transferencia de un sistema de tecnologías apropiadas a los interesados en la cuenca, particularmente a la población pobre e indígena. El énfasis principal de este esfuerzo tecnológico ha estado en el abastecimiento de agua y el saneamiento, vía la cosecha y almacenamiento de la lluvia, el bombeo de agua con una bicicleta, el tratamiento de aguas residuales a escala doméstica y la desinfección del agua con energía solar. Además, se está aplicando la conservación del suelo y los esquemas apropiados de la repoblación forestal para la restauración de la cuenca. Finalmente, un dispositivo automático hidráulico de alta eficiencia para caudales bajos y riego intermitente para servir a pequeñas parcelas se transfirió a los habitantes de la cuenca, para que tengan una fuente confiable de alimento. En total, 1,250 acciones de transferencia de tecnología se han alcanzado hasta ahora. Como resultado de éstos y de otros esfuerzos contemplados en el programa, la salud ambiental de la cuenca ha mejorado de manera significativa.

Proporcionar soporte a una amplia gama de alternativas técnicas y promover innovaciones permite a las comunidades instalar la infraestructura de agua y saneamiento que desean, están dispuestas a pagarla y pueden mantenerla en el largo plazo; también puede reducir los costos *per capita*, permitiendo que los recursos limitados lleven servicio a más hogares.

Bombas manuales, pozos mejorados, almacenamiento de agua de lluvia, letrinas diseñadas localmente, instalaciones usando mano de obra voluntaria y mantenimiento de parte de la comunidad son ejemplos de enfoques de **baja tecnología** que pueden ser particularmente relevantes y económicas para muchas áreas suburbanas y rurales¹⁰.

Las tecnologías asociadas al uso eficiente del agua en zonas urbanas no han tenido el impacto previsto y es necesario completar la gama de tecnologías, así como los programas para la comunicación y adopción de las tecnologías que cumplen con el propósito de reducir la demanda del agua.

Aunque en los países en vías de desarrollo sigue siendo necesario solucionar los problemas relacionados con las enfermedades gastrointestinales, hay una creciente exigencia para remover agentes contaminadores específicos, tales como arsénico y flúor, así como para avanzar en el diseño de procesos alternativos de tratamiento de aguas residuales para aumentar la eficacia, reducir los costos y las responsabilidades ambientales. A la vez, se necesita evaluar las implicaciones que la contaminación del agua tiene sobre la escasez.

Los proveedores de servicios independientes de pequeña escala tienen frecuentemente una ventaja comparativa en la atención de los pobres y deben

revisarse las normas y reglamentos que impidan que los proveedores alternativos operen eficientemente. En algunos asentamientos urbanos, los sistemas de suministro de agua y saneamiento pequeños, operados localmente, pueden ser menos costosos de construir y mantener que los sistemas centralizados de gran tamaño.

El aliento al desarrollo y uso de una variedad de tecnologías y niveles de servicio ayuda a resolver la tensión ante la necesidad de una ampliación rápida de los servicios para cumplir con el objetivo del 2015 y el propósito de mantener los beneficios obtenidos en el largo plazo. El enfoque **un solo tamaño es adecuado para todos**, significa necesariamente que algunos hogares y comunidades terminan por obtener los servicios equivocados. Una falla para responder a las circunstancias y preferencias de los usuarios es muy posible que resulte en una eventual falla de dichos servicios.

La innovación es particularmente necesaria en las áreas financieras, de políticas e instituciones, así como en los sistemas que sirven para el uso más productivo del agua y su saneamiento.

En cuanto a los organismos operadores de los sistemas de agua potable y alcantarillado, es necesario promover que cuenten con personal certificado técnicamente, así como la realización de una gestión por comparación, la cual es la práctica sistemática de comparar los indicadores de gestión de una organización con los de aquellas instituciones que manejan las mejores prácticas en ese ámbito, facilitando el establecimiento de metas cuantitativas claras que permitan al organismo acercarse a la mejor práctica en el mundo y así cumplir su función con mayor eficacia.

Recuadro 10. Normativa técnica sobre conducciones

El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX viene trabajando activamente en los últimos diez años en el campo de la normativa técnica sobre conducciones, de manera que en este periodo de tiempo se han elaborado diversos documentos normativos en la materia a la vez que se tienen otros en curso en la actualidad, como la Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión R13 (2003) o las Recomendaciones sobre tuberías de hormigón armado para redes de saneamiento y drenaje R16 (2005).

En la actualidad se está trabajando en una Guía Técnica sobre redes de saneamiento y drenaje. También en los dos últimos años (2004 y 2005) se ha mantenido una fructífera colaboración con el Canal de Isabel II (el operador del servicio de abastecimiento y saneamiento de la Comunidad de Madrid), mediante la cual se ha prestado asistencia técnica a esta institución en la redacción de Normas para Redes de Saneamiento para su uso interno.

En el ámbito de la reutilización, como instrumento válido y eficaz para lograr una gestión renovada de los recursos hídricos, se ha comenzado una colaboración similar para la redacción de Normas para la Reutilización del Agua también para uso interno del Canal de Isabel II.

Además, se ha trabajado en la elaboración del Borrador de Real Decreto por el que se establecen las Condiciones Básicas para la Reutilización Directa de las Aguas Depuradas, en la confección de una base de datos a escala nacional sobre reutilización, en la realización de un estudio de huevos de helmintos parásitos en aguas residuales y redacción de un manual de buenas prácticas de reutilización en el Estudio sobre Tecnologías Avanzadas para la Regeneración de Efluentes Depurados, basado principalmente en las numerosas realizaciones existentes en España.

El suministro de agua y saneamiento, ocasionalmente unido a la higiene, son un trío que constituye una piedra angular de la salud pública, así como del bienestar económico y social.

El saneamiento y la higiene desaparecen durante las fases de planificación, formulación de políticas, presupuesto e implementación, mientras que la mayor parte del esfuerzo y recursos son asignados al suministro de agua. Esto necesita cambiarse: la promoción de higiene y saneamiento necesita moverse al frente y al centro en vez de continuar siendo agregados al suministro de agua. Son elementos clave para el desarrollo con dignidad. Al respecto, la innovación en los proyectos locales de saneamiento es evidente en el modelo Sulabh¹¹ y Ecosan¹², los cuales han contribuido a remediar y replantear el problema del saneamiento en zonas marginadas.

6. TEMA 4. AGUA PARA LA ALIMENTACIÓN Y EL MEDIO AMBIENTE

El agua, los alimentos y el medio ambiente forman un nodo, una red inseparable. Se necesitan acciones orientadas a nivel local y a un rango de escalas diferentes para poder conciliar las compensaciones relacionadas con los imperativos del incremento en la producción de alimentos y el creciente reconocimiento del valor intrínseco del medio ambiente y la biodiversidad, además de los atractivos que ofrecen los ecosistemas que funcionan de manera robusta¹³.

Una pregunta crucial en la puesta en práctica de las innovaciones es si las instituciones del sector científico-tecnológico-cognitivo pueden responder con éxito a los agricultores y a las necesidades del público y qué tan apropiados o bien adaptados son los resultados de las investigaciones.

En la ilustración 2 siguiente se muestra un esquema de la innovación con base científica y de la entrega de tecnología¹⁴.

Cada vez más, los investigadores de alto nivel toman en cuenta las necesidades del usuario final y, a la vez, se les está pidiendo que lo hagan.

Las tecnologías desarrolladas por los investigadores de alto nivel se incorporan y son utilizadas por los agricultores, después de que se realizan pruebas de campo para establecer cuáles de las muchas técnicas funcionan lo mejor posible bajo cada circunstancia.

Algunas de las tecnologías que resultan se pueden comercializar en el sector privado, mientras que muchas otras se pueden diseminar con eficacia por las instituciones del sector público. En cualquier caso, cuando el valor socioeconómico de las innovaciones se

Recuadro 11. Modelo de simulación para análisis sistémico del uso del agua en la cuenca internacional del Río Bravo

México comparte las cuencas del Río Bravo y del Río Colorado con Estados Unidos de América. La asignación transfronteriza del agua se regula por un Tratado Internacional establecido en 1944 entre los dos países. El Tratado requiere que EU asigne 1,800 millones de metros cúbicos de agua a México cada año, y que México asigne 432 millones de metros cúbicos de agua a EU cada año. El plan contable de los volúmenes asignados transfronterizos se implanta por quinquenio. Debido a una sequía de una década, a la operación inadecuada del sistema de presas y la eficiencia baja de la irrigación en el lado mexicano de la cuenca del río Bravo (Grand River), por primera vez desde que el tratado fue establecido, México no pudo cumplir con la asignación requerida a EU en el período de 2000-2004. Aunque el tratado permite que cada país cumpla con el déficit de volúmenes asignados en el quinquenio consecutivo siguiente, la situación descrita incitó una reacción fuerte de la comunidad agrícola de Texas, que pidió al gobierno federal y el gobierno estatal ejercieran presión sobre México para actualizar la asignación de volúmenes, creando una relación tensa entre los dos países. El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua desarrolló un modelo de simulación para hacer un análisis sistémico del uso del agua en la cuenca, así como desarrolló e implantó un esquema para la agricultura, cuyos componentes principales son un sistema en tiempo real del pronóstico de la irrigación y un diseño de un sistema probabilístico del sistema de irrigación que han permitido la implantación de esquemas operacionales con base en la demanda en la cuenca. Estas herramientas han permitido que la Comisión Nacional del Agua construya un consenso entre la comunidad agrícola en el lado mexicano de la cuenca, para aumentar la eficacia agrícola del uso del agua y contribuir en actualizar la asignación del volumen, en los términos del Tratado. Los pasos siguientes incluyen el desarrollo y la puesta en práctica de los modelos de simulación así como de optimización de las cuencas binacionales, los cuales implicarán a las organizaciones académicas y de investigación en ambos lados de la frontera, así como se realizará un esfuerzo similar para la cuenca del río Colorado, con el fin de garantizar los flujos ambientales para la sustentabilidad del ecosistema en el mar de Cortés.

traduce en financiamiento público para la investigación, el ciclo de la innovación y el cambio tecnológico puede continuar. Sin un flujo sostenido de la investigación, de la experimentación y de la entrega de innovaciones de las instituciones públicas, la productividad del sector privado no puede crecer.

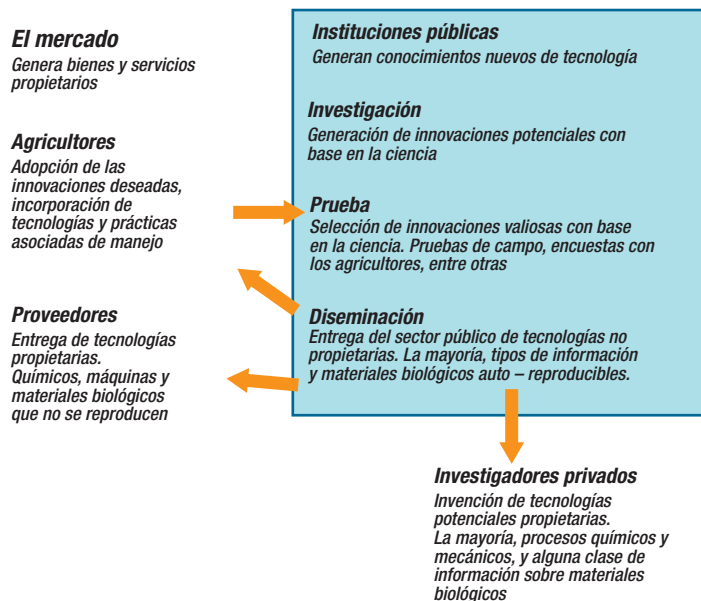
Tanto en los sistemas de producción de alimentos de temporal como de riego, hay un potencial grande para mejorar la productividad del agua, es decir producir más alimento por unidad de agua. Como ejemplo, mientras que 50 litros de agua por día por persona son el mínimo recomendado para el uso doméstico, es necesario un volumen 70 veces mayor para satisfacer el uso consuntivo de agua para producir la dieta de una persona con base en un consumo de 3,000 kcal/día.

Entre las medidas requeridas, en las cuales la ciencia, la tecnología y el conocimiento tienen un papel relevante, se incluyen las siguientes¹⁵:

- Gestión mejorada del agua en irrigación y temporal, con base en derechos seguros del uso del agua y tenencia de la tierra.
- Mejora de las características físicas, biológicas y químicas del suelo, por ejemplo: prácticas de la labranza apropiadas.
- Mitigación de las temporadas largas de sequía mediante la cosecha del agua de lluvia e irrigación suplementaria.

- Arreglos y servicios de apoyo efectivos para la comercialización, crédito accesible, mejoras tecnológicas y servicios de extensión, con énfasis particular en la agricultura de temporal.
- Inversiones en nueva infraestructura de riego y presas, así como gestión mejorada de la irrigación existente.
- Atención a la contaminación del agua por la irrigación, el ganado, así como el procesamiento de alimentos y cultivos industriales.
- El suministro de drenaje de esquemas de irrigación que a menudo no se realiza, en el que hay un gran atraso de inversión y mantenimiento.

Ilustración 2. Esquema de la innovación con base científica y de la entrega de tecnología



Recuadro 12. La transferencia de tecnología para el uso y gestión eficiente del agua en la agricultura

La transferencia de tecnología es una de las actividades básicas y vocacionales del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), desde su creación en 1957. Ello es causa del especial interés del Organismo en la actualización permanente de metodologías y sistemas de divulgación científica del ámbito de la ingeniería civil y del medio ambiente asociado al objeto de que los profesionales interesados puedan perfeccionar sus conocimientos.

Uno de los principales elementos utilizados para sus actividades de formación, difusión y transferencia de tecnología en los temas relacionados con el uso y gestión eficiente del agua en la agricultura, es el Master en Ingeniería de Regadíos del CEDEX, para postgraduados, que en 2005 celebró su duodécimo aniversario. Éste recogió la experiencia acumulada durante las veintitrés ediciones anteriores de su Curso Internacional de Ingeniería de Regadíos. A esa experiencia se han incorporado en los últimos años la sensibilidad ambiental y social requerida actualmente en el tratamiento de esa materia, sus avances tecnológicos y las recientes innovaciones en los procedimientos docentes.

En relación con esta última cuestión, el CEDEX, considerando que la reciente implantación de su Centro Académico Virtual permite extender la posibilidad de participar en el Master a los técnicos interesados en el mismo cuyas responsabilidades profesionales, o su propia situación personal, les impiden desplazarse de su lugar de residencia durante un largo periodo, ha juzgado de sumo interés incluir entre las actividades iniciales del citado centro el curso en línea sobre Modernización de Regadíos. Los contenidos principales del Master en Ingeniería de Regadíos se dirigen hacia el diseño y la gestión eficiente de los regadíos, desde la captación del agua hasta la aplicación en parcela, las implicaciones de éstos en las planificaciones nacionales y regionales, sus interacciones con el medio ambiente y las mejores prácticas de modernización de regadíos, la experiencia de pasadas y recientes actuaciones en estas materias y sus últimas innovaciones tecnológicas, todo ello en el marco de las sensibilidades ambiental y social que actualmente requiere su tratamiento.

7. TEMA 5. MANEJO DE RIESGOS



En los últimos años, el 90% de los desastres naturales se relacionaron con el clima. Entre 1985 y 1999, los países menos desarrollados (PMD) perdieron el 13.4% de su PIB a causa de desastres, mientras que los países desarrollados sólo el 4%. El manejo de riesgos relacionados con el agua tiene un gran impacto en la capacidad de los países para alcanzar los Objetivos de Desarrollo para el Milenio.

El riesgo es una parte inherente de la vida diaria de los seres humanos. La lucha contra eventos extremos, como las inundaciones y las sequías, es tan antigua como la memoria del hombre. En la actualidad los nuevos retos son¹⁶:

- El cambio climático. La mayor variabilidad irá acompañada de un alto grado de incertidumbre en la toma de decisiones relacionadas con la planeación y el desarrollo económico.
- El uso intensificado de los recursos hídricos resultará en un déficit más frecuente. A la vez, las sociedades están cada vez menos dispuestas a aceptar riesgos. Esto puede conducir a conflictos sociales e incluso armados.
- Una participación ciudadana más ética en cuanto a su interacción con el agua, particularmente durante las crisis.

- La mayoría de las megametrópolis se encuentran ubicadas en la costa o en tierras bajas, lo cual representa un gran potencial de daños en caso de eventos extraordinarios. En esas localidades los riesgos se convierten cada vez más en desastres, poniendo en riesgo el desarrollo y la reducción de la pobreza, así como alejan el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio.
- Una creciente preocupación al ver, que en todo el mundo, los daños ocasionados por desastres relacionados con el agua están creciendo desproporcionadamente. Existe una esperanza ampliamente difundida de que los avances tecnológicos y científicos aseguren una mayor protección contra el impacto de los desastres naturales que en el pasado.

A pesar de que éstas son tendencias en el ámbito mundial, las acciones para abordar estos retos deberán emprenderse a nivel local.

Un enfoque integrado de manejo de riesgo proporciona un conjunto de medidas para prevenir que un peligro se convierta en un desastre natural y en todas

Recuadro 13. Modelos numéricos de la atmósfera para predicción del tiempo

México es golpeado cada año por cerca de seis tormentas y huracanes tropicales, que han causado a menudo muertes y daños materiales significativos. Hace algunos años no había herramientas modernas disponibles para el pronóstico de tiempo. Para responder a esta necesidad, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua inició un programa vigoroso de la investigación y de desarrollo de la tecnología en el pronóstico de tiempo numérico. Un modelo de mesoescala fue adaptado a la región meteorológica donde se localiza México, empleando las condiciones de frontera generadas por un modelo de la circulación global. En 1999, el modelo se operó para pronósticos de 12, 24, 36 y 48 horas en 1999 y ahora es operado por el Servicio Meteorológico Nacional. El modelo se ha mejorado cada año y la tecnología resultante ha contribuido para establecer una cultura de la prevención entre la población que vive en las áreas meteorológicas de alto riesgo. Más recientemente, el Instituto desarrolló la versión automática del Sistema de Alerta Temprana de Ciclones Tropicales, el cual genera mapas de alerta prácticamente en tiempo real con base en las emisiones oficiales del Centro Nacional de Huracanes de EU en Miami. Los mapas incluyen la intensidad y los pronósticos de la trayectoria de los ciclones tropicales. El modelo y el sistema han permitido que las unidades de protección civil en los niveles federal, estatal y municipal publiquen con oportunidad los boletines de advertencia, alarma o de evacuación, que han salvado un número indeterminado pero significativo de vidas.

ellas, la ciencia, la tecnología y el conocimiento tienen una intervención significativa. Las estrategias para minimizar los riesgos variarán considerablemente, según el tipo de peligro y la sociedad. Entre los temas relacionados con el riesgo que requieren ser abordados a través de la investigación científica y desarrollo tecnológico destacan el cambio climático, las sequías, inundaciones y otros excesos de agua, los causados por el hombre —intencionales o accidentales— como la contaminación o las fallas técnicas.

En términos generales se pueden distinguir dos grupos de medidas: las estructurales y las no estructurales.

Entre las medidas estructurales, la construcción de infraestructura hidráulica requiere una evaluación de la variabilidad hidrológica presente y una proyección confiable de la misma. Múltiples tipos de obras de protección estructural se deben adaptar al tipo de peligro. Puesto que una protección de 100% no es posible, cualquier medida de prevención tiene un objetivo de protección o norma de diseño predefinido. El conocimiento sobre el peligro es un prerrequisito para una mitigación exitosa. La infraestructura de desarrollo como vías de comunicación, hospitales, entre otros, se debe diseñar para soportar los más severos peligros naturales y ser funcional, incluso en una situación de desastre. Además, esta infraestructura no debe aumentar la magnitud de los peligros.

En caso de emergencia, las instalaciones vitales, equipos y comunicaciones tienen que repararse lo más pronto posible. En primer caso, esto incluye infraestructura vital. Naturalmente, esto puede significar sólo reparaciones provisionales.

A menudo, la reconstrucción excede las capacidades locales, puesto que el tiempo es un factor importante y el apoyo externo es una necesidad.

Durante el proceso de recuperación, las soluciones provisionales se están convirtiendo en soluciones duraderas y definitivas. Por lo tanto, los permisos de construcción definitivos sólo se deben emitir después del análisis del peligro y el daño. La reconstrucción es la gran oportunidad de reducir la vulnerabilidad a ningún costo o a un pequeño costo extra. En esta fase, existe la necesidad de más investigación e insumos tecnológicos. Además, se requiere de esfuerzos internacionales coordinados.

Entre las medidas no estructurales, se tienen el establecimiento de los mapas de peligro y riesgo, aún si sólo existe un riesgo residual. Los planes de acción estratégicos deben incluir planes de uso de suelo y permitir la evaluación de condiciones de riesgo. Pero los

Recuadro 14. Zonificación del riesgo de inundaciones

En España las inundaciones provocan muchos problemas, tanto materiales como humanos. Durante los últimos años las pérdidas económicas asociadas han crecido exponencialmente, tanto debido al incremento en número y magnitud de este tipo de fenómenos hidrometeorológicos, como a la mayor exposición de los bienes y de la población. Asimismo, en España existen gran cantidad de presas con posibilidad para laminar avenidas, pero que también en sí mismas suponen un riesgo para la población, en la medida en que un fallo estructural podría magnificar las consecuencias de una inundación. Por todas estas razones la legislación española (de aguas, del territorio y de protección civil) ha intentado establecer unos criterios de ocupación del territorio en las zonas afectadas por inundaciones y unas normas de prevención de riegos en grandes presas, con el objetivo de minimizar los riesgos a los que la población se enfrenta.

El gran reto de la protección frente a inundaciones es la integración de las medidas estructurales con las no estructurales, es decir, con la zonificación del territorio, con los sistemas de alerta en tiempo real y con los planes de protección civil. El Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (organismo público de investigación en recursos hídricos) ha participado como centro de referencia en la zonificación del riesgo. Esto se concreta en el desarrollo de criterios para realizar el deslinde del Dominio Público Hidrológico, al implementar un modelo matemático para estudiar las avenidas en grandes llanuras de inundación, así como metodologías SIG para evaluar el riesgo. Asimismo, ha elaborado un modelo físico de la llanura de inundación del río Júcar para mejorar el conocimiento de la hidráulica fluvial y estudiar las consecuencias de las diferentes actuaciones infraestructurales.

planes de uso del suelo deben transformarse en regulaciones que apoyen a zonificar las llanuras de inundación, prevenir los asentamientos en las laderas e implantar seguros contra desastres hidrometeorológicos.

No puede haber preparación sin conciencia de los peligros existentes. La conciencia sólo se puede proporcionar por medio de la educación y la capacitación impartidas con regularidad, particularmente en áreas expuestas a peligros poco frecuentes o en asentamientos nuevos. En particular, la atención a la difusión de información a las mujeres, jóvenes y niños es primordial.

El monitoreo, el pronóstico y la advertencia temprana tienen un papel central en el ciclo de manejo de riesgos. Paradójicamente, mientras los desastres hidrometeorológicos están aumentando en magnitud y frecuencia, el monitoreo hidrometeorológico se ha estado reduciendo, debido a la actual tendencia de los gobiernos de usar menos fondos para su ampliación, operación y

mantenimiento. Se requiere un esfuerzo compartido entre los gobiernos, para aumentar y mantener sus redes, y los fabricantes, para mejorar la autonomía de los instrumentos y reducir sus costos. Los datos son la materia prima de los estudios, investigaciones y mejoras tecnológicas.

Los desarrollos en sensores remotos, comunicación satelital y tecnología de la información se deben usar para mejorar el monitoreo y desarrollar modelos computacionales para el pronóstico y advertencia temprana de peligros inminentes. La predicción de los extremos climáticos -y su extensión- de regiones específicas requiere incrementar los esfuerzos en el conocimiento sobre el clima y sus consecuencias hidrológicas. Se necesita que más investigación esté dirigida a entender la naturaleza de climas regionales y regímenes hidrológicos, incluyendo su variabilidad y potencial de cambio.

Este conocimiento es esencial, a fin de calcular la frecuencia potencial de los peligros naturales, así como las opciones de adaptación disponibles. La cooperación técnica internacional ha probado su eficacia para prevenir regionalmente de fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Una advertencia temprana permite salvar vidas. La confiabilidad de la advertencia, y la confianza que le tienen los que responden, es un aspecto importante que determina su eficacia. Las advertencias se deben entender y las personas involucradas deben saber cómo reaccionar. Las advertencias tempranas son eficaces sólo si llegan a las personas afectadas que tienen que responder a esa situación. La ciencia y la tecnología deben tratar de romper la barrera de los recursos financieros, para permitir que esas advertencias lleguen incluso a los rincones más remotos de las áreas afectadas. Para mejorar la cooperación y evitar conflictos, un mecanismo abierto y transparente de comunicación es un prerrequisito. Los datos e información importantes necesitan estar disponibles para todos los involucrados, a fin de colocarlos al mismo nivel de conciencia.

El empleo del conocimiento tradicional y autóctono es crucial para reducir el impacto de desastres, así como la gestión comunitaria de desastres, por medio de programas de mitigación, puesto que las organizaciones comunitarias son las primeras en responder a los peligros. Las operaciones de emergencia requieren de entrenamiento y capacitación regulares.

En caso de un desastre natural, es importante minimizar la extensión del daño y, particularmente, la pérdida de vidas, lo más pronto posible, por medio de una

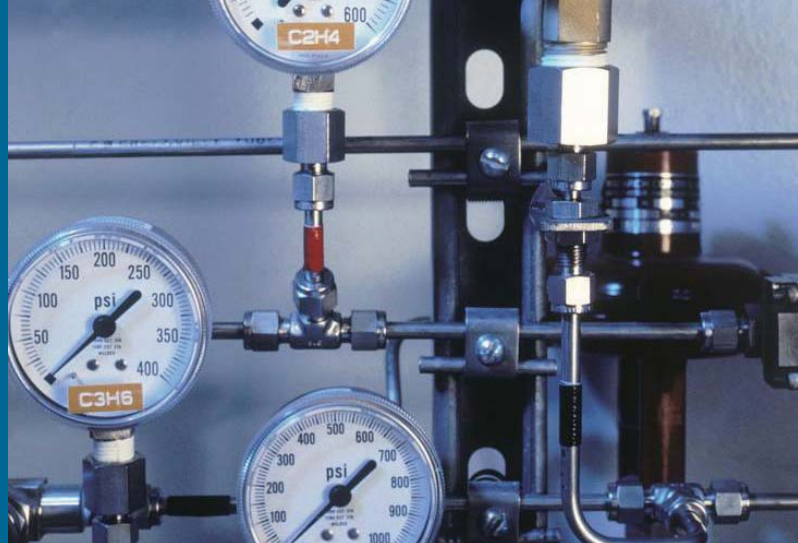
alerta rápida y mecanismos de rescate de respuesta profesional y rápida.

Para mejorar la prevención y preparación, es esencial analizar desastres anteriores. Por ello, conviene evaluar y documentar el desastre con el apoyo de especialistas externos a la zona afectada. Para averiguar las causas, es importante que se conozcan varios factores de impacto, como por ejemplo, la velocidad del viento, la altura de la inundación o la fuerza del impacto dinámico.

En la gestión de riesgos relacionados con el agua casi todas las medidas se tienen que instrumentar a nivel local, con toma de decisiones local, conocimiento local, considerando las situaciones locales. Sin embargo, en este nivel ideal de acción, es muy común no tener el conocimiento científico y técnico para el manejo de riesgos relacionados al agua. A veces, la carencia de este conocimiento es tan marcada, a nivel local, que ni siquiera hay conciencia del riesgo implícito en la toma de decisiones locales. A nivel nacional, la disponibilidad de conocimiento y experiencia científica y técnica no significa que los problemas, en esta área, se estén resolviendo razonablemente o incluso considerando en todo un país.



8. IDEAS PARA EL DEBATE



Se reconoce que el papel del conocimiento —expresado en la forma de cambio tecnológico con base científica y la innovación institucional— se sitúa en el centro del proceso de desarrollo. Pero, en ciencia, tecnología y conocimiento hay una brecha cada vez mayor y creciente, entre los países que ya alcanzaron su desarrollo y los que aún no lo alcanzan. Además, en los países en vías de desarrollo se observa un desarrollo regional contrastante. Para afrontar los rezagos la comunidad internacional sugiere, entre otras, las siguientes acciones:

- **Infraestructura adecuada.** Los países en vías de desarrollo requieren infraestructura para obtener el mayor provecho de la ciencia, de la tecnología y de la innovación. Porque la infraestructura utiliza una amplia gama de tecnologías y de arreglos institucionales complejos, su desarrollo proporciona un cimiento para el aprendizaje tecnológico. La infraestructura es también crítica en la atracción de la inversión directa extranjera. Los países en vías de desarrollo necesitan consolidar su infraestructura y realzar su capacidad de desarrollar, operar y mantener los servicios de infraestructura.
- **Gobiernos con espíritu competitivo.** Si un país en vías de desarrollo orienta su potencial hacia la ciencia, la tecnología y la innovación, necesita emprender un número de actividades básicas, entre las cuales se incluyen la creación de un ambiente institucional que anime la productividad, proporcione incentivos para que florezca y se consolide la capacidad empresarial, así como se convierte en un promotor de la innovación.
- **Universidades competitivas.** Las universidades son el elemento crítico en el avance de la ciencia, la tecnología y el conocimiento, pero el principio de competencia se debe introducir en las actividades académicas. A la vez, las universidades deben vincularse con el sector productivo y social, así como

deben propiciar un ambiente donde los investigadores más jóvenes puedan satisfacer su potencial creativo.

- * **Empresas competitivas.** La creación de ligas entre la generación de conocimientos y el desarrollo de las empresas es uno de los retos más importantes de los países en vías de desarrollo. Una gama de herramientas se puede utilizar para crear y sostener las empresas. En correspondencia, las empresas deben convertir las necesidades de la sociedad en oportunidades para lograr negocios rentables, lo cual también es una forma de innovar.
- * A la vez, para alentar el cambio innovador conviene acentuar la importancia de la cooperación y del diálogo internacional.

Indudablemente la ciencia, la tecnología y el conocimiento son elementos cruciales para que las localidades, los países, las regiones y el mundo en su conjunto puedan aspirar a una gestión sustentable del agua. Las decisiones y la implantación de acciones en materia hídrica han de estar basadas en la mejor ciencia y la mejor tecnología disponibles, tomando en cuenta los factores locales que con frecuencia requieren de la aplicación de paquetes tecnológicos apropiados o de adaptaciones innovadoras. El único medio para cambiar paradigmas en el mundo del agua es el conocimiento. La comunidad científica-tecnológica-cognitiva tiene la responsabilidad de responder con innovaciones pertinentes. Los gobiernos, las empresas y las sociedades deben estar conscientes de que sólo a través de la innovación es posible romper círculos viciosos y transformarlos en círculos virtuosos. La tarea es de todos, ya que el sostenimiento de la vida en este pequeño planeta azul depende del agua, y cada gota cuenta.

Referencias

- ¹ Proyecto del Milenio de las Naciones Unidas, Invirtiendo en el desarrollo: Un plan práctico para conseguir los Objetivos de Desarrollo del Milenio, Nueva York. 2005.
- ² UN Millennium Project, Innovation: Applying Knowledge in Development. Task Force on Science, Technology, and Innovation. 2005.
- ³ Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, White Paper on Science and Technology, Japanese Government. 2004.
- ⁴ Organisation for Economic Cooperation and Development, STI, R&D financing and performance. Scoreboard, 2003.
- ⁵ Organisation for Economic Cooperation and Development, Compendium of patent statistics. 2004.
- ⁶ Proyecto del Milenio de las Naciones Unidas, Op. Cit.
- ⁷ Documento base para el IV Foro Mundial del Agua Tema 1: Agua para el crecimiento y desarrollo.
- ⁸ Documento base para el IV Foro Mundial del Agua Tema 2: Instrumentación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).
- ⁹ UN Millennium Project 2005. Health, Dignity, and Development: What will it take? Task Force on Water and Sanitation.
- ¹⁰ Documento base para el IV Foro Mundial del Agua Tema 3. Agua y saneamiento para todos.
- ¹¹ [En Internet: http://www.sulabhinternational.org/](http://www.sulabhinternational.org/)
- ¹² [En Internet: http://myweb.absa.co.za/ernstt/index.html](http://myweb.absa.co.za/ernstt/index.html)
- ¹³ Documento base para el IV Foro Mundial del Agua Tema 4. Agua, Alimentos y Medio ambiente.
- ¹⁴ USAID AFR/SD, Overview and Priorities for Science and Technology in West Africa: A contribution to USAID West Africa Regional Program. Initiative to End Hunger in Africa (IEHA) Action Plan. Agricultural Policy Development Program PCE-I-00-99-00033-00 (Order No. 5). December 2002.
- ¹⁵ SIWI, IFPRI, IUCN, IWMI. 2005. Let it Reign: The New Water Paradigm for Global Food Security. Final Report to CSD-13. Stockholm International Water Institute, Stockholm.
- ¹⁶ Documento base para el IV Foro Mundial del Agua Tema 5. Manejo de riesgos.

