



Series de Guías TNA



Tecnologías de Adaptación al Cambio Climático

– Sector de Recursos Hídricos –



UNEP
RISØ
CENTRE

ENERGY, CLIMATE
AND SUSTAINABLE
DEVELOPMENT



UNC
WATER INSTITUTE

Tecnologías de Adaptación al Cambio Climático

– Sector de Recursos Hídricos –

Autores

Mark Elliott, Andrew Armstrong, Joseph Lobuglio y Jamie Bartram
The Water Institute (Instituto del Agua) – Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill

Editor

Thanakvaro De Lopez
UNEP Risø Centre

Revisores

Sergio Santos
Terrasystemics

Sau Sisovanna
Universidad Nacional de Administración de Camboya

Traductora

Catherine Borovich de Smith
Cochabamba, Bolivia

Abril 2011



UNEP Risø Centre on Energy, Climate and Sustainable Centro Risø de Energía, Clima y Desarrollo Sostenible del PNUMA (URC)
Laboratorio Nacional Risø para Energía Sostenible de la Universidad Técnica de Dinamarca
Casilla Postal 49,
4000, Roskilde
Dinamarca
Teléfono +45 4677 5129
Fax +45 4632 1999
<http://www.uneprisoe.org/>
<http://tech-action.org/>

ISBN: 978-87-93130-61-6

Diseño y Producción:

Magnum Custom Publishing
New Delhi, India
info@magnumbooks.org

Créditos fotografías:

Fotografía de portada frontal — Gotas de Lluvia en Hojas de Lirio. Cortesía de Vlieg.
Edición de Dominio Público.

Fotografía de contraportada — Tierra Seca en el Desierto de Sonora, México. Cortesía de Tomás Castelazo. Creativa Commons 3.0 Unported.

Esta Guía puede descargarse de <http://tech-action.org/>

Favor usar la siguiente referencia cuando se cite esta Guía:

Elliot, M., Armstrong, A., Lobuglio, J. and Bartram, J. (2011). Technologies for Climate Change Adaptation —The Water Sector. T. De Lopez (Ed.). Roskilde: UNEP Risoe Centre.

Limitación de Responsabilidades:

La presente guía pretender servir como punto de partida para los gobiernos de los países en vías de desarrollo, los planificadores y las diversas partes interesadas que están ejecutando evaluaciones de las necesidades tecnológicas y los planes de acción correspondientes para la adaptación al cambio climático en el sector de los recursos hídricos. Los hallazgos, sugerencias y conclusiones que se presentan en esta publicación pertenecen totalmente a los autores y no deben atribuirse en forma alguna al Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), que es la institución que ha financiado esta publicación.

Índice

| | |
|--|-----|
| <i>Lista de Figuras y Cuadros</i> | iv |
| <i>Abreviaciones</i> | v |
| <i>Prefacio</i> | vii |
| <i>Resumen Ejecutivo</i> | ix |
| 1. Introducción y Contenido de la Guía | 1 |
| 2. Resumen de Hallazgos Principales sobre los Impactos Estimados del Cambio Climático en el Sector de Recursos Hídricos | 3 |
| 3. Definición y Tipos de Opciones y Prácticas en el Sector de Recursos Hídricos | 6 |
| 4. Descripción de las Once Tecnologías y Prácticas de Adaptación Concretas para el Sector | 13 |
| Pozos Perforados/Pozos Entubados para Suministro de Agua Doméstica durante una Sequía | 14 |
| Desalinización | 20 |
| Tratamiento y Almacenamiento Seguro de Agua Doméstica | 28 |
| Mejorando la Resiliencia de los Pozos Protegidos a las Inundaciones | 36 |
| Aumento del Empleo de Accesorios y Dispositivos de Uso Eficiente de Agua | 42 |
| Manejo, Detección y Reparación de Fugas en Sistemas de Agua Corriente | 50 |
| Soporte Posconstrucción para Sistemas de Suministro de Agua de Gestión Comunitaria | 56 |
| Colecta de Agua Pluvial de la Superficie del Suelo – Pequeños Reservorios y Microcaptaciones | 62 |
| Cosecha de Agua Pluvial en Techos | 68 |
| Recuperación y Reutilización de Agua | 76 |
| Planes de Salubridad del Agua | 86 |
| 5. Implementación de las Tecnologías y Prácticas para la Adaptación al Cambio Climático | 93 |
| 6. Conclusiones | 104 |
| 7. Referencias | 105 |
| Anexo I: Glosario | 125 |
| Anexo II: Fuentes de Información Adicional Recomendadas | 130 |
| Anexo III: Marcos para Toma de Decisiones: GIRH y PSA | 132 |

Lista de Figuras y Cuadros

Listado de Cuadros

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1: | Diagrama de destilación de agua, el proceso de desalinización térmica más simple | 21 |
| Figura 2: | Diagrama simple de ósmosis inversa, el proceso de membrana más comúnmente usado para la desalinización | 22 |
| Figura 3: | Foto aérea de la Planta de Desalinización de Agua Marina en Perth, Western Australia. Esta planta utiliza la osmosis inversa para desalinizar agua de mar | 23 |
| Figura 4: | Capacidad de desalinización global (volumen) por proceso en el año 2005 | 23 |
| Figura 5: | Secciones transversales y fotografías de cuatro tecnologías de PDU populares | 29 |
| Figura 6: | Productos comerciales Purait y Tata Swach | 30 |
| Figura 7: | Bomba manual a prueba de inundaciones en Uttar Pradesh, India | 38 |
| Figura 8: | Uso de agua industrial vs. PIB per cápita en EE. UU., RU, Japón y Países Bajos | 43 |
| Figura 9: | El inodoro Aqus™ utiliza las aguas grises del lavabo para la limpieza | 44 |
| Figura 10: | Características básicas de un sistema de CAP doméstica en techos | 70 |
| Figura 11: | Gráfico esquemático del costo relativo de un recipiente de almacenamiento en relación al tamaño (y días de almacenamiento) y calidad de construcción | 73 |
| Figura 12: | Marco para agua potable segura | 87 |
| Figura 13: | Pasos del desarrollo de un PSA | 89 |

Listado de Figuras

| | | |
|-----------|---|----|
| Cuadro 1: | Tipos de las 11 tecnologías y prácticas de adaptación descritas en detalle en el Capítulo 4 | 8 |
| Cuadro 2: | Puntuación de las tecnologías populares de tratamientos de agua potable en Punto de uso, sobre la base de criterios de sostenibilidad. | 30 |
| Cuadro 3: | El Gobierno de los Estados Unidos legisló normas mínimas para eficiencia en el uso de agua para nuevos dispositivos de instalaciones sanitarias, en vigencia desde 1992 | 45 |
| Cuadro 4: | Tratamiento y Usos Sugeridos para la Recuperación de Agua | 79 |

Abreviaciones

| | |
|--------|--|
| ANC | Agua no contabilizada (UFW, Unaccounted for Water) |
| ANR | Agua no rentable (NRW, Non-revenue Water) |
| BSF | Filtro biológico de arena (Biosand Water Filter) |
| CAP | Cosecha de Agua Pluvial (RWH, Rainwater Harvesting) |
| CAWST | Centro para Tecnología Accesible de Agua y Saneamiento (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology) |
| CDC | Centros para el control y Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos de Norteamérica (US Centers for Disease Control and Prevention) |
| COP | Conferencia de las Partes |
| DFID | Ministerio Británico para el Desarrollo Internacional (UK Department for International Development) |
| DCV | Destilación por compresión de vapor (VCD, Vapour Compression Distillation) |
| ED | Electrodiálisis |
| EIA | Evaluación de Impacto Ambiental (Environmental Impact Assessment) |
| EKC | Curva Ambiental de Kuznets (Environmental Kuznets Curve) |
| ENACAL | Empresa Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillados |
| USGS | Inspección Geológica de los Estados Unidos (US Geological Survey) |
| FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura |
| GDWQ | Guías para Calidad de Agua Potable (Guidelines for Drinking Water Quality) |
| GIRH | Gestión Integrada de Recursos Hídricos (IWRM, Integrated Water Resource Management) |
| GPR | Radar de penetración en suelo (Ground Penetrating Radar) |
| HWTS | Promoción del Tratamiento y Almacenamiento Seguro de Agua Doméstica (Household Water Treatment and Safe Storage) |
| IPCC | Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change) |
| IWA | Asociación Internacional del Agua (International Water Association) |
| LCC | Costo de ciclo de vida (Life Cycle Cost) |
| MEE | Evaporación multiefecto (Multiple-effect Evaporation) |
| MIT | Instituto de Tecnología de Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology) |
| MSF | Destilación súbita por efecto flash (Multi-stage Flash Distillation) |
| NF | Nanofiltración |
| O&M | Operación y Mantenimiento (O&M, Operation and Maintenance) |
| ACDI | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico |

| | |
|-------|---|
| OI | Ósmosis Inversa (RO, Reverse Osmosis) |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| ONG | Organización No Gubernamental |
| ONU | Organización de las Naciones Unidas |
| OPS | Organización Panamericana de la Salud |
| PATH | Programa para la Tecnología Apropriada en Salud (Program for Appropriate Technology in Health) |
| PBI | Producto Bruto Interno |
| PCC | Punto de Control Crítico (CCP, Critical Control Point) |
| PDU | Punto de Uso (POU, Point of Use) |
| PNUMA | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, United Nations Environment Programme) |
| PSA | Planes de Salubridad de Agua |
| SPC | Soporte Posconstrucción (PCS, Post-construction Support) |
| SODIS | Desinfección solar (Solar Disinfection) |
| STD | Sólidos Totales Disueltos (TSD, Total dissolved solids) |
| TASAD | Tratamiento y Almacenamiento Seguro de Agua Doméstica (HWTS, Household Water Treatment and Safe Storage) |
| UE | Unión Europea |
| UNC | Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill (University of North Carolina at Chapel Hill) |
| URC | Centro Risø de Energía, Clima y Desarrollo Sostenible del PNUMA (UNEP Risø Centre of Energy, Climate and Sustainable Development) |
| USAID | Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (US Agency for International Development) |
| USEPA | Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency) |
| WEDC | Centro del Agua, la Ingeniería y el Desarrollo (Water, Engineering and Development Centre) |
| WERF | Water Environment Research Foundation (Fundación de Investigación para el Agua y Medio Ambiente) |

Prefacio

Las estadísticas son elocuentes: los recursos hídricos y el suministro de agua estarán sujetos cada vez a mayor presión como resultado del cambio climático. Más aún, se presume que las poblaciones pobres y vulnerables de los países en desarrollo serán las que asuman el mayor costo de estos impactos. Con poblaciones cada vez más numerosas y demandas cada vez más crecientes sobre los recursos hídricos, estos países tienen la urgente necesidad de acceder a opciones de adaptación al cambio climático.

Pero las opciones en sí no son suficientes. Las naciones en desarrollo necesitan también asistencia para identificar cuáles son las alternativas idóneas para cada situación y cómo incorporarlas en sus estrategias de cambio climático. El presente documento constituye una guía para las tecnologías y prácticas de adaptación más pertinentes para el sector de los recursos hídricos en los países en desarrollo. Además de las descripciones y explicaciones que ofrece, esta guía esboza pasos prácticos para implementar tales tecnologías, ilustrándolas con estudios de caso y no se limita a presentar solo requisitos institucionales y de desarrollo de capacidades sino que, asimismo, explora los costos y otras posibles barreras para el desarrollo de proyectos dentro de este marco. Finalmente, el texto complementa su contenido con una sustancial lista de referencias de fuentes externas y estudios de caso.

Esperamos que el enfoque global que aquí se plantea haga de este texto una herramienta efectiva que resulte de utilidad para los responsables de la formulación de políticas y planificadores del sector de recursos hídricos, y, asimismo, sirva como un recurso valioso a nivel comunitario para las autoridades de localidades y distritos, Organismos No Gubernamentales (ONG) y toda otra parte interesada en este tema.

Los coautores de esta guía son Mark Elliot, Andrew Armstrong, Joseph Lobluglio y Jamie Bartram, del Instituto del Agua de la Universidad de Carolina del Norte, en Chapel Hill (Estados Unidos de Norteamérica), que es una institución dedicada a los aspectos globales críticos del agua y la salud. Su director, el profesor Jamie Bartram, es un experto reconocido internacionalmente en el área, y se desempeñó como presidente de UN Water del año 2004 al 2006.

Thanavkaro De Lopez, del Centro Risø de Energía, Clima y Desarrollo Sostenible del PNUMA (URC) estuvo a cargo de la coordinación de la producción de la guía. Sergio Santos, Director de Terrasystems y experto en planificación de adaptación con enfoque en Países Menos Desarrollados (PMD) de África y estados asentados en islas pequeñas, y Sau Sisovanna, catedrático senior en planificación de cambio climático de la Universidad Nacional de Camboya, realizaron numerosos comentarios y sugerencias importantes: sus aportes fueron invalорables y de gran valor para el trabajo.

La presente guía forma parte de una serie producida por URC como parte del Proyecto Evaluación de las Necesidades de Tecnología, ENT (*Technology Needs Assessment*, TNA,) (<http://tech-action.org/>). PNUMA y URC están implementando el proyecto TNA con financiamiento de Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) en 36 países en desarrollo.

Jyoti Prasad Painuly
Gerente de Proyecto
Centro Risø PNUMA

Mark Radka
Coordinador del Programa
de Energía
PNUMA DTIE

Abril, 2011

Resumen Ejecutivo

El objetivo de esta Guía es brindar información experta sobre las tecnologías más relevantes para la adaptación al cambio climático en el sector de los recursos hídricos en los países en desarrollo. Al mismo tiempo, pretende ser una herramienta que pueda ser utilizada por una amplia variedad de actores o grupos interesados (*stakeholders*), entre ellos, entidades de gobierno, empresas de suministro público de agua, juntas de agua comunitarias, organizaciones no gubernamentales y empresas del sector privado.

La adaptación constituye un elemento esencial de la respuesta de los seres humanos al cambio climático. Los impactos negativos del cambio climático en el sector de los recursos hídricos se experimentarán a nivel mundial, pero se prevé que se presentarán con mayor severidad en los países pobres en recursos, es por ello que el acceso a una diversidad de tecnologías y prácticas de adaptación que sean apropiadas y asequibles en varios contextos es una necesidad imperiosa. La escala de estas tecnologías/prácticas de adaptación debería ir desde el nivel de la unidad familiar (por ejemplo, tratamiento de agua doméstica), pasando por la escala comunitaria (como la colecta de agua pluvial en pequeños reservorios), hasta grandes instalaciones que pueden beneficiar a una ciudad o región (como podría ser una planta de desalinización).

Esta guía se inicia con la revisión de los impactos de cambio climático proyectados para el sector hídrico, para luego abordar el papel de la adaptación en el sector en cuestión y los seis tipos de categorías bajo las que se clasifican las estrategias disponibles. En este documento se describen en detalle once tecnologías y prácticas, mientras que otras cuatro solo son descritas brevemente. Si bien estas no constituyen la totalidad de las tecnologías de adaptación disponibles en el sector, sí representan muchas de las tecnologías de adaptación más importantes para los países en desarrollo.

Para cada una de las once tecnologías de adaptación se abordan los siguientes temas: descripción básica; contribución al cambio climático y desarrollo; requerimientos de desarrollo de capacidades y fortalecimiento institucional; costos; barreras y oportunidades para su implementación, y, finalmente, extensas referencias sobre recursos externos y estudios de caso. Los pasos prácticos y los contextos apropiados para la implementación se tratan en el capítulo que sigue a estas descripciones.

La adaptación no debe entenderse como una simple implementación de la tecnología o práctica correctas, sino que debe ser parte de una estrategia intersectorial coherente para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos y el suministro de agua segura, y es por ello que se toman en consideración los instrumentos para la planificación y toma de decisiones para el cambio climático en dicho sector. La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH, también conocida por sus siglas en inglés, *IWRM – Integrated Water Resource Management*) se propone aquí como un marco general para la toma de decisiones en relación a la adaptación al cambio climático en el sector de los recursos hídricos. Del mismo modo se sugiere la adopción de Planes de Salubridad de Agua (PSA, también conocida por sus siglas en inglés *SWP - Safety Water Plans*) a fin de proporcionar un enfoque para la adaptación al cambio climático en lo que concierne a la calidad y el suministro de agua.

La presente guía ha sido desarrollada como parte de un programa más amplio sobre evaluación de las necesidades y transferencia de tecnología. Paralelamente se han desarrollado otras guías, incluidas las que tratan sobre la adaptación en zonas costeras y el sector agrícola², motivo por el cual no se estudian en este texto los métodos para mejorar la eficiencia del riego agrícola. Del mismo modo, las implicancias de la elevación del nivel del mar y las tormentas costeras se abordan solo en el grado en que pueden impactar los recursos de agua dulce y el suministro de agua.

Las tecnologías y prácticas descritas en este documento son muy diversas; sin embargo, se han identificado temas recurrentes que pueden mejorar considerablemente la eficiencia y efectividad de la adaptación, entre los que están la importancia de los pasos preliminares, incluida la recolección de datos y el conocimiento de los recursos hídricos y suministro de agua existentes y, dentro de este esquema, como ya se señaló, tanto la GIRH como los PSA ofrecen alternativas para enfocar estos pasos preliminares, mientras que las políticas locales y los marcos legales pueden tener un impacto sustancial sobre la efectividad de muchos esfuerzos de adaptación.

| | Diversificación del Suministro de Agua | Recarga de Aguas Subterráneas | Preparación para Eventos Climáticos Extremos | Resiliencia* a la Degradoación de la Calidad del Agua | Control y Captación de Aguas de Lluvia | Conservación de Agua |
|---|--|-------------------------------|--|---|--|----------------------|
| Pozos perforados (<i>Boreholes</i>)/Pozos Entubados como Forma de Intervención contra la Sequía para Suministro de Agua Doméstica | | | ● | | | |
| Desalinización | ● | | | ● | | |
| Tratamiento y Almacenamiento Seguro de Agua Doméstica (TASAD) | | | | ● | | |
| Mejora de la Resiliencia de Pozos Protegidos a las Inundaciones | | | ● | ● | | |
| Incremento en el Empleo de Accesorios y Artefactos de Uso Eficiente de Agua | | | | | | ● |
| Manejo, Detección y Reparación de Fugas en Sistemas de Agua Corriente | | | | ● | | ● |
| Soporte Posconstrucción (SPC) para Sistemas de Agua de Gestión Comunitaria | ● | | ● | ● | | |
| Colecta de Agua Pluvial de la Superficie del Suelo – Pequeños Reservorios y Microcaptaciones | ● | ● | | | ● | |
| Cosecha de Agua Pluvial en Techos | ● | ● | | ● | ● | |
| Recuperación y Reutilización de Agua | ● | ● | | ● | | |
| Planes de Salubridad de Agua (PSA) | | | ● | ● | | |

* N.T. Resiliencia como la capacidad de crear condiciones para mantener o proteger la calidad del agua (a través de una cosa inanimada, como es el pozo) en circunstancias perturbadoras (como la sequía).

1. Introducción y Contenido de la Guía

El objetivo de la presente guía es proporcionar información experta y lineamientos prácticos sobre la adaptación al cambio climático a los actores o grupos interesados (*stakeholders*) de los sectores de recursos hídricos. Su diseño pretende convertirla en un recurso asequible que ayude a los lectores a pasar de un entendimiento muy básico de las tecnologías y prácticas más útiles para la adaptación al cambio climático en los sectores de los recursos hídricos de los países en desarrollo, a uno más sofisticado.

Se estima que el cambio climático tendrá un impacto adverso sobre los recursos hídricos y el suministro de agua, y, por otro lado, otros agentes estresantes, como el crecimiento demográfico y el incremento de la demanda per cápita, exacerbarán estos impactos adversos³, lo que generará impactos negativos sustanciales inevitables en el sector de los recursos hídricos⁴.

En el primer y segundo informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), la adaptación fue identificada como un elemento importante en las diversas respuestas al cambio climático. Sin embargo, las primeras negociaciones y respuestas globales al cambio climático se concentraron exclusivamente en la mitigación⁵. Las reuniones de la Conferencia de las Partes de los años 2001 y 2002 (COP7 y COP8, respectivamente) tuvieron como resultado un mayor énfasis en la adaptación y el financiamiento para tal fin. La Declaración de Delhi de la COP8 sostuvo que la adaptación es de “alta prioridad” para los países en vías de desarrollo e incluyó una demanda para la “atención y acción urgentes por parte de la comunidad internacional”⁶.

La magnitud y ubicación de los impactos del cambio climático en el sector de los recursos hídricos son inciertas, por lo que las estrategias de adaptación “sin arrepentimientos” resultan especialmente atractivas. Este tipo de estrategias son las que “generarían beneficios económicos sociales y/o económicos netos, independientemente de si se produce o no el cambio climático”⁷. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Ministerio Británico para el Desarrollo Internacional (*DfID, Department for International Development*) arguyen que la adaptación al cambio climático puede considerarse como una oportunidad para concentrarse en las áreas de salud, desarrollo y sostenibilidad de los recursos hídricos, así como para ganar terreno en ellas⁸.

La presente guía incluye una discusión detallada sobre once tecnologías y prácticas de adaptación en el sector de los recursos hídricos. El IPCC define el cambio climático como “el ajuste en los sistemas naturales o humanos en respuesta a los estímulos climáticos actuales o esperados, o a sus efectos, que modera el daño o aprovecha las oportunidades beneficiosas”⁹.

Además del presente capítulo, esta guía contiene lo siguiente:

El Capítulo 2 incluye un resumen de los impactos del cambio climático sobre el sector de los recursos hídricos y se basó principalmente en el capítulo de recursos hídricos³ del Cuarto Informe de Evaluación del IPCC y en literatura reciente clave para este tema.

El Capítulo 3 se inicia con una breve introducción a las respuestas humanas al cambio climático, con énfasis en la adaptación en el sector de los recursos hídricos, seguida de una descripción de seis tipos de adaptación y sus roles en la reducción de la vulnerabilidad de los recursos hídricos y el suministro de agua, frente al cambio climático. Cada una de las once tecnologías y prácticas descritas en extenso en el Capítulo 4 se categoriza en una o más de los tipos mencionados. Se describen brevemente otras cuatro estrategias de adaptación que no son materia de un tratamiento muy profundo. Este capítulo concluye con una llamada a considerar el impacto que las tecnologías de adaptación pueden tener sobre los efectos de mitigación.

La descripción detallada de las once tecnologías y prácticas para adaptación al cambio climático en el sector de los recursos hídricos es el tema central del Capítulo 4. La discusión sobre cada una incluye una descripción básica; la contribución al cambio climático y los requerimientos de desarrollo, institucionales y de desarrollo de capacidades; los costos, las barreras y las oportunidades de implementación, así como referencias a recursos externos y estudios de caso.

El Capítulo 5 ofrece orientación sobre la implementación de la tecnología y las prácticas descritas en el Capítulo 4, de modo que esbozan medidas prácticas de implementación para cada una de las once tecnologías/prácticas, además de discutir el contexto apropiado y las partes que deben estar a cargo de la ejecución.

La evaluación de las conclusiones y recomendaciones generales para la adaptación de las tecnologías y prácticas en el sector de los recursos hídricos forma parte del Capítulo 6.

La parte final incluye una lista de referencias y dos anexos: un glosario de términos técnicos conforma el anexo I, mientras que el anexo II contiene una lista de fuentes adicionales que puede contribuir a la identificación, priorización e implementación de las tecnologías correspondientes a recursos hídricos, incluida una breve descripción de la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH) y los Planes de Salubridad de Agua (PSA) en calidad de marcos holísticos para tratar la adaptación al cambio climático en lo que respecta a la cantidad y calidad de agua, respectivamente.

2. Resumen de Hallazgos Principales sobre los Impactos Estimados del Cambio Climático en el Sector de Recursos Hídricos

El agua es el principal medio a través del cual el cambio climático influirá en los ecosistemas terrestres y, en consecuencia, en los modos de subsistencia y el bienestar de los seres humanos¹⁰. De acuerdo al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, muchos expertos han llegado a la conclusión de que “bajo el cambio climático, el agua, así como la disponibilidad y calidad de esta, serán los principales factores de presión, y también los problemas más importantes para las sociedades y el medio ambiente”¹¹. La investigación climática proporciona evidencia convincente acerca de que los incrementos en las temperaturas globales están influyendo en el ciclo hidrológico global. Se estima que la temperatura aumentará en diversos grados sobre las principales masas terrestres y durante todas las estaciones; a mayor temperatura, mayor evaporación, deslizamiento de glaciares y expansión térmica de los océanos. Otra de las consecuencias es la elevación de la capacidad de retención del vapor de agua en la atmósfera, lo cual conlleva una mayor variabilidad climática y a un ciclo hidrológico más intenso¹².

Aunque se ha proyectado que la temperatura continuará aumentando a nivel global, los efectos de este incremento en la precipitación pluvial variarán de un área a otra. Estos efectos pueden también estar sujetos a variaciones estacionales; se espera que, en algunas zonas, la precipitación se eleve en una estación y descienda en otra. Aunque el campo de la modelación climática ha progresado rápidamente en los últimos años, las proyecciones cuantitativas de los cambios en precipitación, caudales fluviales y niveles de agua siguen siendo inciertos¹².

A pesar de las incertidumbres inherentes asociadas con las estimaciones relacionadas con el cambio climático, los estados miembros del IPCC señalan, con alta confianza, que los impactos negativos del cambio climático sobrepasarán los impactos positivos que estos puedan tener en todas las regiones del mundo. Lo más probable es que aquellos lugares en los que se estima una reducción de la precipitación y escorrentía, saquen menos beneficios de los recursos de agua dulce. Por el contrario, se espera que en las zonas donde se recibe más escurrimiento, los beneficios del incremento en los flujos hídricos sean contrarrestados por una mayor variabilidad pluvial en cambios en la escorrentía estacional sobre el suministro de agua, calidad del agua y riesgo de inundaciones¹².

La discusión de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos se divide aquí en cuatro categorías: mayor intensidad de las precipitaciones, menores flujos de agua, mayor variabilidad en la precipitación y elevación del nivel del océano. Los principales efectos de estas cuatro categorías sobre el sector de los recursos hídricos se describen en secciones posteriores. Es importante entender que, aun cuando es de esperarse que estos impactos sobre los recursos hídricos se presenten en algunas áreas, la presencia de una categoría no implica una tendencia global relacionada con el clima.

Mayor intensidad de la precipitación: Proyectos del IPCC basados en una alta confianza en la intensidad de la precipitación debido al cambio climático¹². Los impactos esperados en el sector de los recursos hídricos incluyen:

- Riesgo de inundaciones más elevado, con los consecuentes daños a la infraestructura y contaminación de suministros de agua y el medio ambiente. Existe una particular posibilidad de que

se produzcan rebalses en los sistemas de alcantarillado que combinan aguas pluviales y sanitarias, y se propague la contaminación fecal. En los Estados Unidos de Norteamérica, los niveles extremos de precipitación han sido asociados con un 20 a 40% de brotes de enfermedades transmitidas por el agua¹². Aunque se cuenta con menos datos para los países en vías de desarrollo, existe cierta evidencia de que el exceso de lluvia tiene como resultado un aumento de aproximadamente el 10% en las tasas de enfermedades diarreicas¹³.

- Incremento de la escorrentía, decremento de la infiltración y de la recarga de los acuíferos subterráneos.
- Mayor arrastre de fertilizantes, desechos animales y partículas hacia los suministros de agua. Mayor concentración de nutrientes en aguas superficiales que conllevan un crecimiento más elevado de microbios y agotamiento del oxígeno disuelto.

Mayor variabilidad en la precipitación: El IPCC estima que se producirá una mayor variabilidad en la precipitación, incluyendo cambios en la lluvia estacional¹². Las sociedades y economías del mundo entero se han desarrollado sobre la base de patrones históricos de disponibilidad de agua y ya que esto es particularmente cierto para la agricultura dependiente de la lluvia, también afectará el sector de los recursos hídricos.

- Es posible que los sistemas de suministro de agua que han sido diseñados sobre la base de niveles de precipitación y patrones predecibles de derretimiento de la nieve deban incrementar los requisitos de almacenamiento de reservorios y/o explorar recursos hídricos complementarios¹⁴.
- Se prevé la posibilidad de sequías más prolongadas, inclusive en áreas donde la precipitación anual neta no cambia.
- Para muchas regiones se anticipa un incremento proporcional en los flujos de invierno y un menor almacenamiento de glaciares/nieve, lo cual generará una reducción aún mayor en la calidad del agua dulce durante períodos de estiaje¹².
- Los riesgos asociados a una mayor precipitación se basan principalmente en los cambios en la distribución (es decir, intensidad) que se discuten en párrafos anteriores bajo el subtítulo Mayor Intensidad de la Precipitación.

Disminución de los caudales de agua: Se ha observado una tendencia a la reducción en la precipitación sobre las zonas terrestres que se encuentran entre las latitudes 10°S y 30°N y se espera que esta continúe. Se estima que muchas de las regiones áridas y semiáridas (por ejemplo, el sur de África, el noreste de Brasil y la cuenca del Mediterráneo) enfrentarán un descenso en sus recursos hídricos¹². Las proyecciones indican que para el año 2050, la escorrentía fluvial anual y la disponibilidad de agua se reducirán entre un 10 y 30% en algunas de las regiones secas de las latitudes medias y los trópicos secos, incluidas algunas áreas que ya se encuentran bajo estrés del recurso hídrico¹⁵.

- El declive en la precipitación anual, especialmente cuando va de la mano con el crecimiento demográfico y la afluencia incremental, puede conducir a rápidos descensos en la disponibilidad de agua per cápita. Se estima que hasta dos tercios de la población mundial podrían estar viviendo bajo estrés hídrico o escasez de agua para el año 2025¹⁶.
- Se piensa que la recarga de aguas subterráneas se reducirá considerablemente en algunas regiones bajo estrés hídrico. De otro lado, la drástica reducción de las aguas subterráneas puede exacerbarse a medida que el declive en la disponibilidad de agua conduzca a un incremento en la extracción de dichas aguas¹².

- La calidad del agua de las fuentes de agua superficial puede verse afectada negativamente debido a los bajos volúmenes, las mayores concentraciones de nutrientes y los tiempos más prolongados de residencia.

Elevación del nivel del mar: Los impactos más amplios de la elevación del nivel del mar en las zonas costeras son materia del manual de esta serie de la UNEP que lleva por título Tecnologías de Adaptación al Cambio Climático - Erosión e Inundaciones en Zonas Costeras (*Technologies for Climate Change Adaptation—Coastal Erosion and Flooding*)¹⁷. Sin embargo, esta elevación afectará también al sector de recursos hídricos ya que, en general, las zonas costeras sufren escasez de agua y se encuentran experimentando un rápido crecimiento poblacional¹².

- La elevación del nivel del mar ampliará las áreas de salinización de las aguas subterráneas, reduciendo aun más la disponibilidad de agua dulce en las zonas costeras¹².
- La elevación del nivel del mar tiene como consecuencia también la salinización de las aguas de la superficie costera. Se informa que en el delta del Mekong de Vietnam, el agua salada se introduce 30 kilómetros tierra adentro durante la estación seca¹⁸.
- El mayor nivel del mar aumentará la vulnerabilidad de los recursos de agua dulce, los pozos de agua potable y las obras de tratamiento de agua para casos de inundación durante las tormentas costeras.

Los impactos del cambio climático se dan en paralelo a los factores de estrés de los recursos hídricos antropogénicos e interactúan con ellos. Estos factores antropogénicos pueden afectar los recursos hídricos más rápida y agudamente que el cambio climático. Entre ellos se encuentran el crecimiento poblacional, el aumento de la demanda de agua per cápita, los procesos de urbanización, la deforestación y el cambio en el uso de suelos¹². El crecimiento demográfico, el desarrollo económico y la expansión de la agricultura de regadío han incrementado la demanda de agua, conduciendo a tasas de extracción de aguas subterráneas a tasas no sostenibles, reduciendo las napas freáticas en muchas zonas del mundo¹⁹.

Se piensa que el aseguramiento de un suministro de agua adecuado bajo escenarios de cambio climático requerirá de inversiones importantes. Muchos de los países en los que se espera que el sector de recursos hídricos se vea afectado más adversamente por el cambio climático son también los más pobres en recursos. Análisis recientes indican que los costos estimados para la adaptación de los recursos hídricos en los países en desarrollo exceden a los de los países ricos, tanto en términos absolutos como en porcentaje del PIB. Especialmente serio es el hallazgo que indica que se prevé que los costos de adaptación más elevados corresponden al África Subsahariana²⁰. Sin embargo, estos estimados se basan en los elevados costos de las soluciones “difíciles” (por ejemplo, expansión de reservorios, desalinización) y no dan cuenta de estrategias de conservación y otros mecanismos “fáciles”.

La adaptación en el sector de los recursos hídricos debe incorporar diversos enfoques para asegurar la resiliencia de los suministros de agua al cambio climático. Aunque algunos países necesitarán ayuda para sus esfuerzos de adaptación, existen tecnologías y prácticas de adaptación asequibles y apropiadas en casi todos lados.

Los enfoques de adaptación al cambio climático en el sector de los recursos hídricos son materia del Capítulo 3.

3. Definición y Tipos de Opciones y Prácticas en el Sector de Recursos Hídricos

Adaptación al Cambio Climático

Las primeras estrategias dirigidas a tratar el cambio climático se enfocaron casi exclusivamente en la mitigación, es decir, la reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. En los últimos años se ha dedicado más recursos a la adaptación de los sistemas humanos y naturales a los impactos anticipados del cambio climático. En la Conferencia de las Partes sostenida en Marraquech (COP7) en 2001 se crearon tres fondos específicos para brindar soporte a la implementación de medidas de evaluación de la vulnerabilidad y adaptación. Desde entonces, la adaptación se ha convertido en una parte cada vez más importante de las estrategias internacionales para responder al cambio climático²¹.

Las definiciones que se le dan a la adaptación al cambio climático son diversas y difieren de una organización a otra. Un reporte publicado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) incluye una discusión sobre las definiciones de adaptación y sus implicancias en lo que respecta a políticas e implementación²¹. En el presente documento utilizaremos la definición proporcionada en la Introducción al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (sección G: Definición de términos clave), que dice:

Adaptación es el ajuste en los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos existentes o previstos, o a sus efectos, que modera o el daño o aprovecha las oportunidades beneficiosas²².

Adaptación en el Sector de los Recursos Hídricos

El Resumen para Formuladores de Políticas del IPCC (*Summary for Policy Makers*) proporciona formas para las estrategias de adaptación en el sector de los recursos hídricos, como por ejemplo, cosecha ampliada de aguas de lluvia, técnicas de almacenamiento y conservación de agua, reutilización del agua, desalinización, uso eficiente de agua y eficiencia en el riego²³. El riego de los cultivos abarca aproximadamente el 69% del consumo de agua dulce en todo el mundo; es por eso que la eficiencia en el riego se convierte en un elemento fundamental en los esfuerzos de conservación del agua²⁴. Sin embargo, las intervenciones en el sector agrícola no se tratan en el presente documento sino en otro de la misma serie de publicaciones²⁵.

La adaptación en el sector de los recursos hídricos ofrece muchas oportunidades para lo que se conoce como acciones “sin arrepentimientos”. Una adaptación sin arrepentimientos es aquella que “generaría beneficios sociales y/o económicos netos independientemente de que se produzca o no el cambio climático por causas antropogénicas”²⁵. Las intervenciones de adaptaciones que afrontan temas como la resiliencia a los eventos climáticos extremos, la contaminación de los suministros de agua potable y la diversificación y conservación de recursos, producirán beneficios sociales, económicos y de salud en casi todo escenario climático imaginable. El marco sin arrepentimientos puede ser especialmente importante

en el contexto del financiamiento, como por ejemplo, (1) cuando el cambio climático constituye un tema de división política o donde existe escepticismo sobre el cambio climático, y (2) cuando los fondos disponibles para el sector de los recursos hídricos puede complementarse con fondos especialmente asignados para el cambio climático.

Tipos de Categorías de Tecnologías/Prácticas de Adaptación de esta Guía

Seis son los tipos de categorías que utilizamos aquí para definir la función adaptativa a la cual contribuyen estas tecnologías y prácticas. Además de estos seis grupos para el sector de recursos hídricos, se incluye también toda contribución considerable (positiva o negativa) de una tecnología/práctica de esfuerzos de mitigación. En el Capítulo 4 se describen en detalle once tecnologías, las cuales están categorizadas dentro de los 6 tipos, señalados a continuación:

- Diversificación del Suministro de Agua
- Recarga de Aguas Subterráneas
- Preparación para Fenómenos Climáticos Extremos
- Resiliencia a la Degradación de la Calidad del Agua
- Control y Captación de Agua de Lluvia
- Conservación de Agua

La mayoría de las tecnologías/prácticas corresponden a más de un tipo porque pueden contribuir a más de un aspecto de la adaptación al cambio climático. Además de las once tecnologías y prácticas descritas detalladamente en el Capítulo 4, existen otras estrategias de cambio climático que son pertinentes para muchos escenarios y que se discuten brevemente al final de este capítulo, con referencia a fuentes externas para mayor información.

Cuadro 1: Tipos de las 11 tecnologías y prácticas de adaptación descritas en detalle en el Capítulo 4.

| | Diversificación del Suministro de Agua | Recarga de Aguas Subterráneas | Preparación para Fenómenos Climáticos Extremos | Resiliencia a la Degraddación de la Calidad del Agua | Control y Captación de Agua de Lluvia | Conservación del Agua |
|---|--|-------------------------------|--|--|---------------------------------------|-----------------------|
| Pozos perforados/Pozos entubados como Forma de Intervención contra la Sequía para el Suministro de Agua Doméstica | | | ● | | | |
| Desalinización | ● | | | ● | | |
| Tratamiento y Almacenamiento Seguro de Agua Doméstica (TASAD) | | | | ● | | |
| Mejora de la Resiliencia de Pozos Protegidos a las Inundaciones | | | ● | ● | | |
| Incremento en el Empleo de Accesorios y Artefactos de Uso Eficiente de Agua | | | | | | ● |
| Manejo, Detección y Reparación de Fugas en Sistemas de Agua Corriente | | | | ● | | ● |
| Soporte Posconstrucción (SPC) para Sistemas de Agua de Gestión Comunitaria | ● | | ● | ● | | |
| Colecta de Agua Pluvial de la Superficie del Suelo – Pequeños Reservorios y Microcaptaciones | ● | ● | | | ● | |
| Cosecha de Agua Pluvial en Techos | ● | ● | | ● | ● | |
| Recuperación y Reutilización de Agua | ● | ● | | ● | | |
| Planes de Salubridad de Agua (PSA) | | | ● | ● | | |

Diversificación del Suministro de Agua: Se estima que los patrones de precipitación experimentarán mayor variabilidad en la mayoría de escenarios de cambio climático. La respuesta de los recursos hídricos a los fenómenos de precipitación varía ampliamente. Por ejemplo, los sistemas de aguas subterráneas típicamente muestran una respuesta mucho más lenta y menos expresiva a la sequía y la precipitación copiosa que las aguas superficiales²⁷. Por lo tanto, la diversificación de los recursos utilizados para el suministro de agua puede reducir la vulnerabilidad al cambio climático. Además, la exploración de alternativas para recursos de agua dulce (por ejemplo, reutilización del agua o desalinización) puede reforzar aún más la resiliencia.

La diversificación del suministro de agua puede darse a diferentes escalas, desde proyectos de represas masivas que pueden servir a un país entero, hasta intervenciones a nivel doméstico. Por otro lado, no se debe asumir que cada fuente de agua debe ser de suficiente calidad para todos los usos, como para beber o cocinar. Por ejemplo, muchas veces las aguas residuales tratadas no potables pueden ser seguras para el riego. Las tecnologías y prácticas incluidas en la diversificación del suministro de agua son las siguientes:

- Desalinización
- Soporte Posconstrucción para los Sistemas de Agua bajo Gestión Comunitaria
- Colecta de Agua Pluvial de la Superficie del Suelo – Pequeños Reservorios y Microcaptaciones
- Cosecha de Agua Pluvial en Techos
- Recuperación y Reutilización de Agua

Recarga de Aguas Subterráneas: Las napas freáticas están descendiendo en muchas regiones del mundo debido a las insostenibles tasas de extracción actuales²⁸. La recarga intencional de aguas subterráneas se está volviendo cada vez más popular y los esquemas innovadores usados para este fin, como el empleo de agua de lluvia cosechada, aguas residuales recuperadas y otros métodos han demostrado tener éxito en la elevación de las napas freáticas o evitar la dramática reducción de sus niveles^{29,30}. Las tecnologías y prácticas correspondientes a esta categoría que se describen en la presente guía son:

- Colecta de Agua Pluvial de la Superficie del Suelo – Pequeños Reservorios y Microcaptaciones
- Cosecha de Agua Pluvial en Techos
- Recuperación y Reutilización de Agua

Preparación para Fenómenos Extremos: Se espera que la intensificación del ciclo hidrológico aumente el riesgo de fenómenos húmedos y secos extremos en numerosas zonas³¹. Las siguientes tecnologías y prácticas de adaptación pueden reducir la vulnerabilidad a los fenómenos extremos:

- Pozos perforados/Pozos entubados como Forma de Intervención contra la Sequía para Suministro de Agua Doméstica
- Mejora de la Resiliencia de Pozos Protegidos a las Inundaciones
- Soporte Posconstrucción a los Sistemas de Agua de Gestión Comunitaria
- Planes de Salubridad de Agua (PSA)

Resiliencia a la Degradoación de la Calidad del Agua: Se estima que el cambio climático tendrá impactos adversos sobre la calidad del agua. Las temperaturas más elevadas del agua, los fenómenos de precipitación extrema y los períodos de bajo caudal exacerbarán muchas de las formas de contaminación hídrica³¹. Las siguientes tecnologías de adaptación pueden mejorar la resiliencia a la degradación de la calidad del agua.

- Desalinización
- Tratamiento y Almacenamiento Seguro de Agua Doméstica (TASAD)
- Soporte Posconstrucción (SPC) para Sistemas de Agua de Gestión Comunitaria
- Recuperación y Reutilización de Agua
- Planes de Salubridad de Agua (PSA)

Control y Captación de Agua Pluvial: Las áreas más urbanas han sido diseñadas de forma que el agua de lluvia y otras escorrentías se canalicen, a través de los sistemas de drenaje, hacia los cursos de agua y las afueras de la ciudad para evitar inundaciones. Existe la opción de recurrir al uso de la captura de agua de lluvia con embalses de detención, asfalto poroso, techos verdes, galerías de infiltración y cisternas para convertir el agua de lluvia, de un posible peligro, en recurso. Las tecnologías que contribuyen a la captación y control de agua de lluvia que se describen en el presente documento son:

- Colecta de Agua Pluvial de la Superficie del Suelo – Pequeños Reservorios y Microcaptaciones
- Cosecha de Agua Pluvial en Techos

Conservación del Agua: El consumo de agua per cápita generalmente aumenta a medida que un país se desarrolla económico. Sin embargo, las medidas de conservación de la mayor parte de países desarrollados han conducido a la nivelación y eventual descenso en el consumo de agua per cápita^{32,33}. La conservación incrementa la resiliencia a la sequía, previene el agotamiento de las aguas subterráneas y puede posponer significativamente la necesidad de ampliación de reservorios e instalaciones de tratamiento de agua. Las tecnologías y prácticas que contribuyen a la conservación son:

- Incremento en el Empleo de Accesorios y Artefactos de Uso Eficiente de Agua
- Manejo, Detección y Reparación de Fugas en Sistemas de Agua Corriente

Otras Prácticas de Adaptación en el Sector de Recursos Hídricos: Las opciones de adaptación seleccionadas, que no se discuten en detalle en el Capítulo 4, se describen brevemente en esta parte del documento. Estas opciones pueden ser controversiales, requerir de marcos legales o infraestructura no disponible en muchos escenarios, o quizás un tipo de implementación muy específico para un contexto. El Manejo Integrado de Recursos Hídricos (GIRH) (ver párrafos posteriores) puede proporcionar un marco para la toma de decisiones bajo cada uno esos enfoques:

- **Reservorios Artificiales:** Generalmente creados a través de la construcción de una presa en un valle, los reservorios artificiales tienen el potencial de producir incrementos masivos en el suministro de agua disponible. Sin embargo, existen numerosos impactos ambientales y sociales asociados con la construcción de presas, la inundación y el desplazamiento de poblaciones. Entre los impactos ambientales está el hallazgo, contrario a lo imaginable, de que algunas presas podrían incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la descomposición de la vegetación cuando el valle es inundado³⁴. La Comisión Mundial de Presas³⁵ y el PNUMA³⁶ han desarrollado un marco para la toma de decisiones sobre la construcción de presas. Además, el Banco Asiático para el Desarrollo ha efectuado la compilación de diversos documentos, estudios de caso y sitios web sobre presas y desarrollo, los cuales se encuentran disponibles en línea³⁷.
- **Cooperación Intersectorial:** En muchos países, los enfoques de la gestión de los recursos hídricos están dominados por las divisiones sectoriales. El sector agrícola, el de suministro de agua municipal, el industrial, el energético y otros utilizan los recursos hídricos y dependen de su acceso a ellos. Cuando estos intereses en competencia persiguen sus metas en forma independiente, el resultado puede ser incoherente y el desarrollo y la gestión, fragmentados. La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) (ver secciones posteriores) proporciona un marco para un enfoque de cooperación intersectorial en cualquier escenario.
- **Mejor conocimiento de los recursos hídricos y la demanda de agua:** La comprensión de los recursos hídricos disponibles y la anticipación de la demanda son fundamentales para cualquier estrategia de gestión de aguas. El IPCC sostiene: “La información técnica, incluidos los datos geofísicos, hidrometeorológicos y ambientales básicos y la información sobre valores sociales, económicos y culturales, así como de las necesidades del ecosistema, también es de importancia

crítica para la adaptación efectiva”³¹. Como ejemplo de esta afirmación se incluye el entendimiento de los sistemas de aguas subterráneas, hidrología superficial, la dinámica de la salinización en los sistemas costeros y el uso de agua detallado a nivel doméstico, industrial y agrícola. En los Capítulos 4 y 5 se ofrecen más ejemplos de la importancia de la recolección de datos preliminares.

- **Mercados de Agua:** El Principio No. 4 de la Declaración de Dublín dice: “El agua tiene un valor económico en todos sus usos competentes y debería ser reconocida como un bien económico”³⁸. La pregunta de quién tiene el derecho a usar una fuente de agua específica se maneja de manera muy diferente dependiendo del marco legal local. El uso de mercados en los que el derecho de extraer agua pueda ser negociado como un bien económico ha sido explorado en los Estados Unidos de Norteamérica, Chile, Australia y otros lugares^{39,40,41,42}. También se ha explorado la aplicación específica de los mercados de agua como una herramienta específica para la adaptación al cambio climático^{42,43}.

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) es, quizás, una de las herramientas más flexibles y globales para evaluar los recursos hídricos y cubrir las diversas demandas de agua. El IPCC reconoció, en su Cuarto Informe de Evaluación (2007), que la GIRH tenía el potencial de ser “un instrumento para explorar medidas de adaptación al cambio climático” a tiempo que lamentaba de que se encontrara “en pañales”³¹. Desde ese año, ha habido muchas publicaciones sobre GIRH y sus aplicaciones en diversos escenarios (ver Referencias, para ejemplos representativos)^{45,46}. Una introducción ideal tanto para la GIRH como para su importancia para la adaptación al cambio climático son el manual de capacitación⁴⁷ y las presentaciones de apoyo⁴⁸ desarrolladas por Cap.-Net –una red de las Naciones Unidas– y otras organizaciones internacionales.

Impacto sobre la Mitigación

Los programas de adaptación al cambio climático son diametralmente diferentes de los programas concentrados en la mitigación; sin embargo, no debería dejar de prestarse atención a los posibles impactos de las estrategias de adaptación sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y sus efectos sobre las metas de mitigación.

Las tecnologías y prácticas de adaptación en el sector de los recursos hídricos que conllevan la reducción del volumen de agua que debe transportarse, tratarse y distribuirse, ahorran energía y disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero. Entre estas se encuentran tecnologías que conservan el agua, reducen la demanda o posibilitan la reutilización de agua disponible a nivel local, algunas de las cuales se discuten en el Capítulo 4, como por ejemplo:

- Incremento en el Empleo de Accesorios y Artefactos de Uso Eficiente de Agua
- Manejo, Detección y Reparación de Fugas en Sistemas de Agua Corriente
- Colecta de Agua Pluvial de la Superficie del Suelo – Pequeños Reservorios y Microcaptaciones
- Cosecha de Agua Pluvial en Techos
- Recuperación y Reutilización de Agua

Existen otras tecnologías de adaptación de uso intensivo en energía y que aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con las anteriores, de las cuales, la más importante es la desalinización, que se discute en el Capítulo 4. Los requerimientos energéticos de la desalinización pueden tener uno o más órdenes de magnitud que las de los tratamientos de agua convencionales⁴⁹. Sin embargo, existen casos en los que la desalinización podría verse como un medio de ahorro de energía,

por ejemplo, cuando la aplicación a las aguas salinas disponibles localmente puede ser preferible al transporte de agua dulce a través de largas distancias, en particular cuando se requiere la construcción o ampliación de infraestructura de transporte.

4. Descripción de las Once Tecnologías y Prácticas de Adaptación Concretas para el Sector

Las respuestas humanas al cambio climático se clasifican en dos grandes categorías: mitigación y adaptación. La mitigación es definida por el IPCC como “la implementación de políticas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y ampliar los sumideros”⁵⁰, mientras que este mismo organismo define la adaptación como “el ajuste en los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos existentes o esperados, o sus efectos, que modera el daño o aprovecha las oportunidades beneficiosas”⁵¹.

La adaptación fue identificada en el primer y segundo informes de evaluación del IPCC como un elemento importante en las respuestas al cambio climático. Sin embargo, las primeras negociaciones y respuestas globales referentes al cambio climático se concentraron casi exclusivamente en la mitigación⁵². Las reuniones de la Conferencia de las Partes sostenidas en los años 2001 y 2002 (COP7 y COP8, respectivamente) condujeron a un mayor énfasis en la adaptación, y en el financiamiento para esta. La Declaración de Delhi de la COP8 incluyó un enunciado con respecto a que la adaptación tenía “alta prioridad” para los países en vías de desarrollo y constituía una demanda de “atención y acción urgentes por parte de la comunidad internacional”⁵³.

La magnitud y ubicación de los impactos del cambio climático en el sector de los recursos hídricos son inciertas y los recursos mismos son limitados. Las estrategias de adaptación “sin arrepentimientos” son las que generarían beneficios sociales y/o económicos netos, independientemente de si el cambio climático antropogénico tiene lugar o no⁵⁴. Se ha demostrado que muchas de las intervenciones en recursos hídricos y saneamiento producen impactos positivos sobre la salud y el desarrollo, y una relación costo-beneficio sólida⁵⁵. Además, para muchas de estas intervenciones se pueden alegar beneficios adicionales a través de contribuciones a la adaptación al cambio climático. Debido a estas sinergias, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Departamento de Desarrollo Internacional del Reino Unido (DFID, por sus siglas en inglés) arguyen que la adaptación al cambio climático puede ser vista como una oportunidad para centrarse en la salud, el desarrollo y la sostenibilidad de los recursos hídricos, y las ganancias que se pueden lograr en estos campos⁵⁶.

Como se señaló anteriormente, en esta parte del documento se describen en detalle once tecnologías y prácticas. El orden en el que se presentan no implica prioridad o importancia alguna.

Pozos Perforados/Pozos Entubados para Suministro de Agua Doméstica durante una Sequía

Áreas Temáticas: Preparación para fenómenos climáticos extremos

Términos para el Glosario: Perforación; Pozo entubado; Sequía; Estrés hídrico/Escasez

A. ¿En qué consiste la tecnología/práctica?

El aumento del acceso a las aguas subterráneas es una estrategia clave para el suministro de agua doméstica (tanto potable como no potable) durante una época de sequía; por lo tanto, los programas de alivio de la sequía en áreas rurales generalmente incorporan la perforación o profundización de pozos entubados y/o pozos perforados simples, aunque estas actividades muchas veces resultan ineficientes y pueden ser innecesarias, como se describe a continuación⁵⁷. Este capítulo describe opciones para aumentar el acceso a las aguas subterráneas durante épocas de sequía y brinda referencias para medidas de mitigación previas a estos eventos que reduzcan la necesidad de intervenciones de emergencia. En la Sección B se incluyen definiciones breves de la sequía y sus tipos.

Los pozos entubados consisten en un tubo o encamisado angosto y con ranuras que se introducen hasta la capa subsuperficial que contiene agua. El término pozo entubado algunas veces se usa como sinónimo de pozo perforado*, pero este último se define más específicamente como pozo entubado que penetra la roca madre, con un encamisado que no se extiende por debajo de la interfaz entre el suelo no consolidado y la roca madre. A menudo, los pozos entubados pueden ser instalados con barrenos manuales, mientras que los pozos perforados requieren de un método de perforación con una fuente de energía externa. La elección de la tecnología y método de perforación dependen del costo, recursos, nivel de la napa de aguas subterráneas, rendimiento deseado y otros factores⁵⁸. Las distinciones entre los pozos entubados y los pozos perforados no constituyen un tema crítico para esta discusión y los términos se usan en forma intercambiable a lo largo del documento.

El agua se extrae a la superficie con una bomba manual o automática, o, en caso de que el encamisado haya penetrado un acuífero confinado, la presión puede hacer que el agua llegue a la superficie. Las características más sobresalientes de los pozos entubados incluyen: (1) un encamisado plástico o metálico (generalmente de 100 a 150 mm de diámetro); (2) en suelos no consolidados, una sección “de ranurado” del encamisado por debajo de la napa freática que está siendo perforada; (3) un “sello sanitario” que consiste de lechada de cemento y arcilla para prevenir que el agua rezuma alrededor del encamisado, y (4) una bomba para extraer el agua. Para información más detallada sobre las opciones de construcción de pozos entubados, ver la sección de Referencias, que incluye, por ejemplo, los recursos en línea de WaterAid^{58,59} y la FAO⁶⁰.

Para aumentar el suministro de agua, a través de un pozo perforado durante épocas de sequía, se emplean las siguientes tres estrategias principales:

- Perforación de nuevos pozos/profundización de pozos existentes: Estas estrategias constituyen la base de los enfoques convencionales para mejorar el acceso al agua subterránea en áreas rurales durante época de sequía^{61,62}. Generalmente estas medidas resultan apropiadas para la mitigación de los síntomas extremos de la sequía, pero a menudo no son las más eficientes en el uso de recursos limitados⁵⁷. Además, es necesario realizar estudios de agua subterránea y elegir adecuadamente el lugar del pozo profundo para lograr el máximo impacto. Estos temas son materia de discusión adicional en las secciones D y G.
- Reparación de pozos perforados dañados: En muchos episodios de sequía, la drástica reducción de las aguas subterráneas regionales no es el factor que afecta el acceso al recurso hídrico. Cuando los pozos perforados individuales funcionan inadecuadamente en una sequía, generalmente la causa radica en una falla mecánica o un problema en el abatimiento local. Durante una sequía reciente en la región sur del África, una prospección de los puntos de agua realizada por Oxfam reveló que la mayoría de pozos perforados no funcionales habían fallado debido a problemas con el equipo (por ejemplo, deficiencia de la bomba) o manejo de la demanda, como el abatimiento

* N.T.: También denominado perforación o borehole

localizado. La falla en un punto de agua (incluidas las fuentes tradicionales) aumenta la presión sobre los pozos perforados, incrementando la demanda, el abatimiento local y las deficiencias de los equipos. La reparación de pozos perforados dañados es una forma rápida y no costosa de prevenir esta cascada de inconvenientes en el punto de agua^{57,66}.

- Pozos perforados de alivio con uso restringido a los períodos de sequía: Muchos autores han propuesto desarrollar “pozos perforados de alivio” profundos que se mantienen tapados cuando los suministros de agua son adecuados y se abren para usarlos durante épocas de sequía^{62,63}. Existen informes de una implementación exitosa de este tipo de pozos perforados en Botsuana⁶⁴. Sin embargo, la descontinuación del acceso que sigue a la sequía puede ser problemática, aspecto que se discute en la sección G.

B. ¿Cómo contribuye la tecnología/práctica a la adaptación al cambio climático?

Es altamente probable que un clima más caliente tenga como resultado sequías más frecuentes⁶⁵. Los pozos entubados profundos, usualmente definidos por los ingenieros como los que penetran por lo menos en una capa impermeable⁵⁹, por lo que, generalmente, presentan mucho mayor resiliencia a la sequía que las fuentes de agua tradicionales, incluidas vertientes, pozos excavados a mano y fuentes de agua superficial. En muchas regiones, la única fuente perenne de suministro de agua es el agua subterránea⁶⁶. Sin embargo, debemos tener un conocimiento más matizado de la sequía para formular una respuesta apropiada.

La sequía se define como una “aberración temporal” en un patrón climático y es generada por la variabilidad en la precipitación y la evapotranspiración, a diferencia de la aridez, que es una condición climática “habitual” para una zona dada, y con el estrés hídrico/escasez de agua, que refleja los recursos hídricos renovables per cápita^{67,68}. La sequía se divide, a su vez, en tres categorías: sequía meteorológica, sequía agrícola y sequía hidrológica. Las primeras dos suelen darse primero y la sequía hidrológica es del tipo asociada con el déficit en las aguas superficiales y el suministro de agua subterránea⁶⁷. La sequía de aguas subterráneas algunas veces se usa para distinguir además los casos en los que la napa freática disminuye y algunos pozos se secan⁶⁶. Muchas situaciones comúnmente descritas como sequía pueden tener un fuerte impacto en la agricultura a secano y otras actividades, sin tener un impacto directo en la disponibilidad de agua potable segura⁵⁷.

C. ¿Cuáles son las contribuciones de la práctica/tecnología al desarrollo?

La discontinuidad del suministro de agua durante la sequía puede paralizar el desarrollo económico y poner obstáculos a la buena salud y bienestar de los seres humanos⁶⁹. El acceso al agua subterránea evita el tener que basarse en suministros alternativos de poca calidad y reduce los gastos en agua embotellada o comercial.

D. ¿Cuáles son los requerimientos de conocimiento/ desarrollo de capacidades?

Para determinar la mejor estrategia para optimizar el acceso al agua subterránea durante épocas de sequía, se requiere conocer la distribución demográfica, los recursos de aguas subterráneas, y la ubicación/ estado del punto de agua. El Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial ha publicado una extensa revisión de los factores (incluido el desarrollo de capacidades) que tienen impacto sobre el éxito de los programas de agua subterránea en Etiopía e India, entre los cuales se cuentan recomendaciones relativas a la necesidad de capacitación al personal de los sectores públicos y privados que realizan perforación de pozos⁷⁰.

En algunos lugares, las ubicaciones de los pozos perforados pueden ser definidas sobre la base de mapas disponibles y la observación. En otros, en cambio, es necesario recurrir a técnicas geofísicas de alto costo, pero el éxito de un método variará ampliamente dependiendo del medio geológico. Sobre este particular se cuenta con lineamientos para diversos métodos, desde simples y observacionales a tecnológicamente complejos^{71,72}.

E. ¿Cuáles son los requerimientos institucionales/ organizativos?

Para poder tomar decisiones informadas, en cuanto al acceso al agua subterránea en época de sequía, es fundamental contar con una base de datos central sobre aguas subterráneas⁶⁶. Estos datos pueden recolectarse, a través de una iniciativa del gobierno central a un costo elevado. Como alternativa, los gobiernos pueden hacer que los datos obtenidos por todas las principales entidades vinculadas con la perforación de pozos (por ejemplo, contratistas, donantes, ONG, empresas estatales) contribuyan a una base de datos como la que se postula. Los registros de los pozos perforados, los informes de completación* de pozo, los datos de bombeos de prueba y otra información de utilidad deberían compilarse en un repositorio centralizado para beneficio de todos los interesados⁷⁰. Además de los datos sobre los recursos hídricos subterráneos, el tener un mapa de los puntos de agua existentes puede potenciar considerablemente la eficiencia de un programa de alivio de sequía. WaterAid ha reportado una metodología para mapeo de puntos de agua y lecciones aprendidas en Malaui y Tanzania.

La perforación, profundización y reparación de pozos dependen en gran medida del acceso a los mercados internacionales para equipos de perforación, repuestos y consumibles. La reducción de obstáculos y costos asociados con negocios internacionales, como aranceles y restricción a las importaciones, puede ayudar a movilizar al sector privado para mejorar el acceso al recurso hídrico subterráneo. Estos y otros aspectos institucionales se cubren con detalle en las Referencias⁷⁰.

F. ¿Cuáles son los costos y requerimientos financieros?

Los costos de perforación de pozos nuevos pueden variar considerablemente, dependiendo de muchos factores, de modo que la cotización de costos “típicos” puede ser engañosa. Sin embargo, podemos decir que el costo promedio en la mayor parte de África oscila entre los \$10.000 y \$15.000 mientras que, por el contrario, el costo promedio en India es menos de un décimo de este rango de cifras^{70,74}. Se cuenta con una metodología detallada para el costeo de operaciones de perforación de pozos en Etiopía que incorpora (i) movilización/ desmovilización, (ii) perforación, (iii) encamisado y completación, y (iv) desarrollo y bombeo de prueba⁷⁵. La reparación de pozos dañados puede costar mucho menos (algunas veces hasta en 3 o más órdenes de magnitud) que la perforación de pozos nuevos.

G. ¿Cuáles son las barreras y las oportunidades de implementación?

Una adecuada gestión previa a la sequía podría incrementar enormemente la eficiencia de estas intervenciones y prevenir actividades de emergencia, costosas e ineficientes. En términos generales, se entiende que estas incluyen evaluación de estos recursos, análisis de vulnerabilidad a la sequía de recursos hídricos subterráneos e incorporación de resistencia a la sequía en los programas de suministro de agua⁶⁶. Sin embargo, muchas de las funciones críticas que pueden mejorar su eficiencia no son valoradas por los actores. Por ejemplo, en general resulta difícil conseguir apoyo de donantes y el gobierno para el desarrollo de bases de datos para el mapeo de aguas subterráneas y acceso/ estado de puntos de agua^{57,66}.

* NT: Informe de la finalización de implementación de un pozo

En general, la causa de que un pozo perforado esté “seco” no es clara para los usuarios y a menudo se asume que esto se debe al agotamiento regional de las aguas subterráneas, causado por la falta de lluvias. En realidad, la razón para una deficiencia como esta se debe con mayor frecuencia a un abatimiento localizado o a una falla mecánica, ambas atribuibles, con mayor probabilidad, al sobreuso^{57,66}.

Los obstáculos que se encuentran en el caso de los “pozos perforados de alivio” incluyen dificultades para detener el acceso después de la sequía. La FAO señala que existe una tendencia al surgimiento de asentamientos humanos alrededor de los pozos de alivio⁷⁶ y se pueden encontrar informes de amenazas de violencia cuando llega el momento de tapar el pozo⁶².

Por lo general, los pozos entubados profundos bien construidos producen agua de buena calidad microbiana, pero tanto los acuíferos profundos como los someros pueden estar contaminados con arsénico y fluoruro presentes naturalmente en el ambiente. Aunque estas aguas pueden usarse en general para fines domésticos no potables, no deberían ser consumidas sin tratamiento. El arsénico es una preocupación especial en las regiones deltaicas del sur y sudeste de Asia⁷⁷, mientras que las concentraciones de fluoruro usualmente son mayores al pie de las montañas. Sin embargo, las concentraciones de estos elementos químicos pueden variar en gran forma, de acuerdo a la ubicación y la profundidad del pozo, inclusive a pequeña escala geográfica. Por lo tanto, se deberían llevar a cabo pruebas de agua para verificar la presencia de arsénico y fluoruro para cada pozo nuevo tras su construcción y periódicamente durante su operación. En caso de que se detecte cualquiera de ellos durante el muestreo, existen numerosos recursos técnicos para responder con la solución pertinente^{78,79, 80,81}.

H. Ejemplos y estudios de caso de las diferentes regiones

Asimismo, se cuenta con hojas de datos de los tipos de pozos, técnicas de perforación y métodos geofísicos^{58,71}. *WaterAid* ha publicado un informe sobre mapeo de puntos de agua y uso de los datos recolectados⁷³.

El Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial ha difundido una guía sobre pozos perforados efectivos en términos de costo que cubre los aspectos técnico, institucional y de otra naturaleza, y compara experiencias en el África subsahariana con otras de India, usando Etiopía como estudio de caso⁷⁰, además de muchos otros casos de sequías en otros lugares de África^{63,66,82}.

Desalinización

Áreas Temáticas: Diversificación del suministro de agua; Resiliencia a la degradación de la calidad del agua

Términos para el glosario: Agua producto, Concentrado, Salobre, Salinidad, Tratamiento con membrana; Osmosis inversa, Conductividad, Sólidos Totales Disueltos (STD), Desalinización, Equilibrio de bajo nivel

A. ¿En qué consiste la tecnología/práctica?

Más del 97% del agua de la Tierra no es adecuada para el consumo humano debido a su salinidad. La vasta mayoría (casi el 99%) de esta es agua de mar, y la mayor parte del porcentaje restante corresponde a aguas subterráneas salinas⁸³. La purificación del agua salina promete recursos hídricos prácticamente ilimitados para las civilizaciones humanas en las regiones costeras. Sin embargo, este método es caro, requiere uso intensivo de energía y a menudo ha tenido impactos adversos en los ecosistemas. A pesar de sus inconvenientes, la desalinización puede ser una elección apropiada en ciertos casos y los avances tecnológicos continúan reduciendo los costos económicos y ambientales de este método⁸⁴.

La desalinización consiste en la remoción del cloruro de sodio y otros constituyentes disueltos del agua de mar, aguas salobres, aguas residuales o agua dulce contaminada. Aproximadamente 75 millones de personas alrededor del mundo dependen de la desalinización y se espera que ese número crezca a medida que los recursos de agua dulces se vean sujetos a estrés por acción del crecimiento poblacional y a la migración de millones más hacia ciudades costeras con recursos de agua dulce inadecuada⁸⁵. La desalinización se usa más ampliamente en regiones áridas: más de la mitad de la capacidad de desalinización del mundo (volumen) se ubica en países del Medio Oriente y el norte de África. El agua de mar representa más del 50% del agua de fuente de desalinización alrededor del mundo; sin embargo, en los Estados Unidos, por ejemplo, solo se ha usado el 7% de las plantas de desalinización desde el año 2005. Las aguas salobres constituyen la mayor parte de las aguas de fuente para desalinización, mientras que el resto está compuesto por aguas de río y aguas residuales (la aplicación de los procesos de desalinización a aguas residuales se aborda en mayor detalle en la sección titulada Recuperación y Reutilización de Agua)⁸⁶.

Son dos las corrientes de agua que se derivan de la desalinización: (1) agua producto pura, y (2) corriente de alta concentración residual o salmuera. Los principales métodos de desalinización se sitúan dentro de dos categorías: procesos térmicos (Figura 1) y procesos con membrana (Figura 2).

Figura 1: Diagrama de destilación de agua, el proceso de desalinización térmica más simple.
En este método se aplica una llama a un vaso de precipitación que contiene agua salada; el agua se evapora y deja las sales. El vapor de agua se desplaza hacia el tubo adyacente, donde se condensa y gotea en un matraz como agua líquida pura. Los procesos térmicos modernos (MSF, MEE, VCD, etc.) son mucho más eficientes en el uso de energía que la destilación simple.
Fuente: Filters Fast LLC⁸⁷.

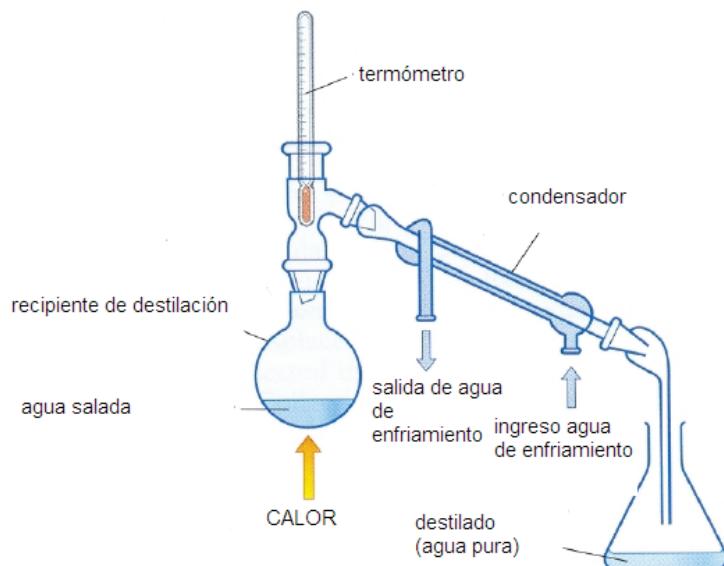
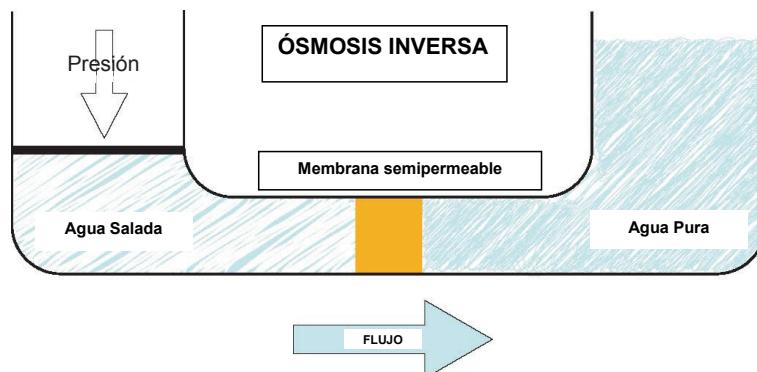


Figura 2: Diagrama simple de ósmosis inversa, el proceso de membrana más comúnmente usado para la desalinización. En este diagrama se aplica alta presión al agua salada, forzando a sus moléculas a pasar a través de una membrana con agujeros muy pequeños, de modo que dejan la sal detrás.



Fuente: HydroLink88

Los procesos de desalinización térmica generalmente usan el calor para evaporar el agua, dejando los constituyentes disueltos detrás. Luego el vapor de agua se condensa y colecta como agua producto. La destilación es el más simple de estos procesos térmicos y la eficiencia energética de este simple proceso ha mejorado enormemente⁸⁹. El proceso de desalinización más común hoy en día es la destilación súbita por efecto flash (MSF, *multi-stage flash*); en el año 2005 se reportó que la MSF representaba el 36% de los procesos de desalinización a nivel internacional (Figura 4). La MSF mejora la eficiencia energética de la destilación simple utilizando una serie de cámaras de baja presión y reciclando el calor residual y, en algunos casos, puede brindar una eficiencia aún mayor por medio del empleo del calor residual de una planta de energía adyacente. La Evaporación Multiefecto (MEE, *Multiple-effect Evaporation*), también conocida como destilación multiefecto, es otro proceso térmico que utiliza cámaras de baja presión. Es posible alcanzar mucho mayor eficiencia en la MEE que en la MSF, pero la MEE no es tan popular (ver Figura 4) porque sus primeros diseños estaban plagados de escamas minerales. Los diseños más recientes han reducido esta escamación y la MEE está ganando popularidad^{85,90}. Para operaciones más pequeñas, con necesidades de volúmenes de aproximadamente 3000 m³/día, la destilación por compresión de vapor (VCD, *Vapor Compression Distillation*) puede ser una opción de destilación térmica apropiada. La VCD es un proceso simple, confiable y eficiente que resulta popular en los balnearios (*resorts*), industrias y lugares de trabajo donde no se dispone de agua dulce adecuada⁹⁰.

Los procesos de desalinización por medio de membrana utilizan alta presión para forzar el paso de las moléculas a través de poros (agujeros) muy pequeños, mientras retienen las sales y otras moléculas más grandes. La ósmosis inversa (OI) es la tecnología de desalinización más utilizada; en el año 2005 (Figura 4) este método representaba el 46% de la capacidad de desalinización global. El nombre del proceso deriva del hecho de que se usa presión para impulsar a las moléculas de agua a través de la membrana en dirección opuesta a la que normalmente tomaría debido a la presión osmótica. Dado que es necesario revertir la presión osmótica, la energía necesaria para impulsar las moléculas de agua a través de la membrana está directamente relacionada con las concentraciones elevadas de sal. En 1999, este método solo correspondía al 10% de procesos de desalinización de agua de mar en el mundo⁸⁵, pero su eficiencia energética y economía han mejorado sustancialmente con el desarrollo de membranas de polímero más durables, mejoramiento de los pasos de pretratamiento e implementación de los mecanismos de recuperación de energía. En muchos casos, la OI resulta ahora más económica que los métodos térmicos para el tratamiento de agua de mar^{90,91}.

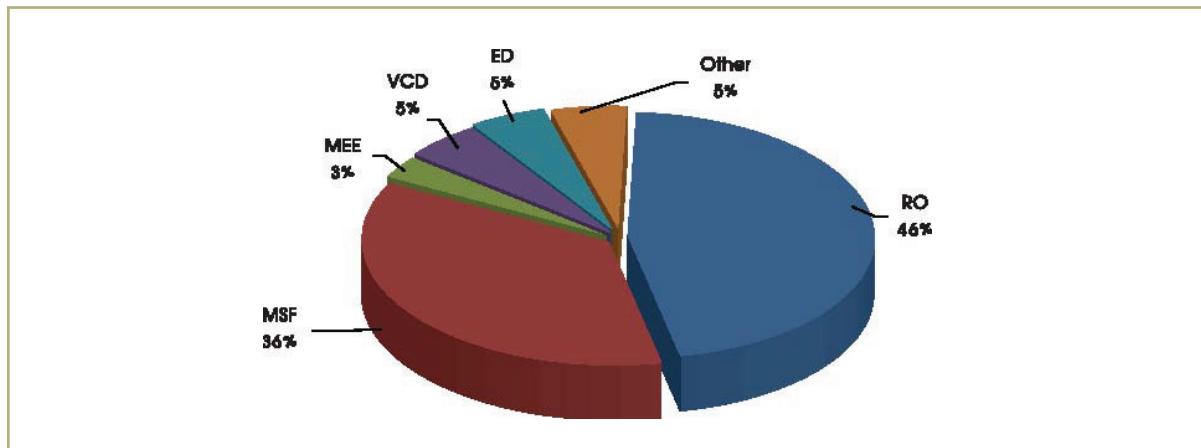
Figura 3: Foto aérea de la Planta de Desalinización de Agua Marina en Perth, Western Australia. Esta planta utiliza la osmosis inversa para desalinizar agua de mar.



Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Perth_Seawater_Desalination_Plant.jpg

Cerca del 90% de la capacidad de volumen global para desalinización está representada por los 4 procesos térmicos y con membrana discutidos anteriormente. Entre otros procesos de desalinización están la electrodiálisis, el congelamiento, la destilación solar, el método híbrido (térmico/membrana/energía) y otras tecnologías emergentes (Figura 4).

Figura 4: Capacidad de desalinización global (volumen) por proceso en el año 2005



Fuente: Gleick et al., 2006.⁸⁶

RO: Osmosis Inversa; MSF: Destilación súbita por efecto Flash; MEE: Evaporación multiefecto; VCD: Destilación por compresión de vapor; ED: Electrodiálisis; Otros: congelamiento, método híbrido, nanofiltración, procesos térmicos y de otra naturaleza.

La electrodialisis (ED) utiliza corriente para remover los iones del agua. A diferencia de los procesos con membrana y térmicos descritos anteriormente, la ED no puede ser empleada para remover moléculas no cargadas del agua fuente⁹⁰. También es posible desalinizar agua por congelamiento a temperaturas ligeramente bajo 0°C, pero esto implica pasos complicados para separar las fases sólidas de las líquidas y no se practica comúnmente. Sin embargo, en un clima frío se ha recurrido a los ciclos de congelamiento-deshielo para purificar agua a costos competitivos con OI^{90,92}. El interés en cosechar energía solar ha conducido a avances significativos en los procesos de destilación solar. La desalinización híbrida, que combina los procesos térmicos y de membrana, y usualmente funciona en paralelo con una instalación de generación de energía, es una tecnología emergente prometedora que ha sido implementada con éxito^{93,94}. Las membranas de nanofiltración (NF) no pueden reducir la salinidad del agua de mar a niveles potables pero han sido utilizadas para tratar aguas salobres. Las membranas de NF son una medida de pretratamiento popular cuando se las combina con la OI⁹¹.

Las tecnologías de desalinización han ido avanzando hasta lograr mejoras consistentes en eficiencia energética, durabilidad, y menor operación y mantenimiento en muchos de los casos, pero podría ser que nuevas tecnologías aún en investigación y desarrollo, produzcan grandes mejoras. Estas tecnologías emergentes incluyen nanotubos^{95,96}, membranas de electrodialisis avanzada⁹⁷ y membranas biomiméticas⁹⁸.

Las mayores desventajas de los actuales procesos de desalinización tienen que ver con los costos, requerimientos de energía e impactos ambientales, entre los cuales se cuentan la disposición de las corrientes de concentración de residuos y los efectos de las tomas de entrada y salida de los ecosistemas locales. Estos temas se discuten más detalladamente en Barreras para la Implementación (sección G).

A pesar de estas desventajas, se espera que el uso de la desalinización aumente ampliamente durante el siglo XXI, principalmente por dos razones: (i) la investigación y el desarrollo: estos procesos continuarán haciendo que la desalinización sea menos intensiva en energía, más competitiva en términos financieros, y ambientalmente más benigna, y (ii) el aumento de la demanda: el crecimiento de la población, el desarrollo económico y los procesos de urbanización están conduciendo a aumentar la demanda de suministro de agua rápidamente en las zonas costeras y otras áreas con acceso a aguas salinas.

B. ¿Cómo contribuye la tecnología/práctica a la adaptación al cambio climático?

La desalinización puede ayudar tremadamente en la adaptación al cambio climático, principalmente a través de la diversificación del suministro de agua y la resiliencia a la degradación de la calidad del agua. La diversificación del suministro de agua puede proporcionar alternativas o fuentes de agua complementarias cuando los recursos hídricos son inadecuados en cantidad o calidad. Las tecnologías de desalinización también proporcionan resiliencia a la degradación de la calidad del agua porque usualmente pueden obtener agua producto muy pura, inclusive de fuentes altamente contaminadas.

El aumento de la resiliencia a una menor disponibilidad de agua dulce per cápita es uno de los principales desafíos de la adaptación al cambio climático. Tanto las tendencias de sequía a corto plazo como las tendencias climáticas de reducción en la precipitación a largo plazo pueden tener como resultado una menor disponibilidad de agua per cápita. Estas tendencias climáticas ocurren paralelamente al crecimiento poblacional, el cambio en el uso de suelos y el agotamiento de las aguas subterráneas; por lo tanto, es posible que se den rápidos decrementos en la disponibilidad de agua dulce per habitante.

Sin embargo, las grandes demandas de energía para los actuales procesos de desalinización contribuirán a las emisiones de gases de efecto invernadero y podrían destruir ciertos esfuerzos de mitigación de cambio climático.

C. ¿Cuáles son las contribuciones de la práctica/tecnología al desarrollo?

El acceso a un adecuado suministro de agua dulce para beber, usos domésticos, comerciales e industriales es esencial para la salud, el bienestar y el desarrollo económico⁸⁴. En muchos casos, los procesos de desalinización pueden proporcionar acceso a abundantes aguas salinas que previamente no podían utilizarse.

D. ¿Cuáles son los requerimientos de conocimiento/desarrollo de capacidades?

Un informe del Banco Mundial sobre la Desalinización en el Medio Oriente y el Asia Central incluye un capítulo sobre desarrollo de capacidades¹⁰⁰. Entre las principales necesidades se incluyen:

- Información y evaluación de los recursos de datos, específicamente sobre la desalinización
- Capacidades técnicas.
- Recursos financieros dedicados a la investigación.
- Políticas nacionales en la planificación a largo plazo y establecimiento de infraestructura institucional para el manejo y operación de la desalinización¹⁰⁰.

Los requerimientos de capacitación y educación formal en desalinización también se discuten a profundidad¹⁰⁰.

E. ¿Cuáles son los requerimientos institucionales/ organizativos?

Hasta hace poco se disponía de poca información sobre los aspectos institucionales de la desalinización. Un proyecto del Banco Mundial ayudó a definir los principales aspectos institucionales asociados a la desalinización y proporcionó recomendaciones para su implementación. Entre estos aspectos están cómo y cuándo debería incorporarse la desalinización en una política sobre aguas de mayor envergadura; como integrar la desalinización en políticas energéticas y coproducción de energía; el papel de la empresa privada; y cómo distribuir y cobrar por el agua desalinizada^{84,99,100}.

Muchas de las recomendaciones para el desarrollo de la desalinización se relacionan con la remediación de problemas más amplios en el sector de los recursos hídricos. La desalinización requiere inversión económica sustancial; por lo tanto, cuando se implementa la desalinización, se deben combinar la inefficiencia, los desperdicios y el equilibrio de bajos niveles en el sector hídrico^{84,100}. Entre las principales recomendaciones para los gobiernos que exploran la desalinización como opción, tenemos:

- Desarrollar una política de agua limpia por medio de un enfoque de gestión integral de recursos hídricos (GIRH), para determinar con precisión el potencial de recursos renovables de agua dulce, la demanda y el consumo. Solo cuando se conozca la adecuación de los recursos hídricos convencionales se debe perseguir el desarrollo de recursos hídricos no convencionales (por ejemplo, aguas salinas)¹⁰⁰.
- Implementar la gestión de la conservación y la demanda de agua en todos los sectores. Entre los métodos más importantes está la reducción del agua, no rentable, de sistemas de tubería; el uso

de subsidios específicos limitado a ciertos casos; y la prevención de la contaminación de aguas subterráneas.^{99,100}.

- Considerar la desalinización en combinación con otras fuentes de agua no convencionales, incluidas la reutilización de aguas residuales tratadas, la importación transfronteriza de aguas, la cosecha de agua de lluvia, y las microcaptaciones¹⁰⁰.

El Banco Mundial alerta, en los siguientes términos, a quienes creen que la desalinización es una panacea:

Puede ser preferible no involucrarse en desalinización a gran escala salvo que se hayan resuelto las debilidades subyacentes del sector de los recursos hídricos... la desalinización debería seguir siendo la última opción y solo debería aplicarse después de haberse considerado alternativas menos costosas en términos de suministro y manejo de la demanda⁹⁹.

F. ¿Cuáles son los costos y requerimientos financieros?

Una revisión de la literatura sobre costos de desalinización, publicada recientemente, ha mostrado que los costos son mucho más específicos para el sitio y el costo por volumen tratado puede variar considerablemente. Algunos de los factores que, según se reporta, tienen mayor influencia sobre el costo por m³ son: el costo de la energía, la escala de la planta y el contenido de sal/STD del agua fuente¹⁰¹. Evidentemente, los costos de capital de la construcción constituyen también una consideración importante, pero son casi totalmente específicos para cada sitio.

El costo de la membrana de desalinización disminuye bruscamente en la medida en que la concentración de sal es menor. En promedio, el agua de mar contiene aproximadamente 35.000 mg/L STD; las aguas salobres, en cambio tienen un contenido de 1.000-10.000 mg/L, por lo que su tratamiento puede costar mucho menos⁹¹. Los costos por volumen para desalinizar aguas salobres usando OI generalmente se reportan en un rango de \$0,26-\$0,54/m³ para plantas grandes que producen 5.000-60.000 m³/día, mientras que son mucho más elevados (\$0,78-\$1,33/m³) para plantas que producen menos de 1000 m³/día. El costo por volumen para OI de agua de mar se estima en \$0,44-1,62/m³ para plantas que producen más de 12.000 m³/día¹⁰¹.

Los métodos térmicos (generalmente utilizados para desalinizar agua de mar) están sujetos a las mismas economías de escala. Los costos reportados para las plantas de desalinización térmicas fueron \$2-2,60/m³ para 1.000-1.200 m³/día y \$0,52-1,95/m³ para plantas que producen más de 12.000 m³/día¹⁰¹.

Las estrategias de adaptación al cambio climático deben considerar no solo las predicciones sobre el futuro del clima, sino también el futuro desarrollo tecnológico. Los costos asociados a la desalinización continúan declinando incrementalmente a medida que la eficiencia tecnológica mejora. Como se mencionó anteriormente, es posible que se desarrolle una nueva tecnología que reduzca sustancialmente los costos de desalinización.

G. ¿Cuáles son las barreras y oportunidades para la implementación?

La desalinización hace posible que los servicios públicos de muchas áreas con deficiencia hídrica puedan acceder a recursos de agua casi ilimitados. Sin embargo, como se discutió brevemente en la sección E, la implementación de la desalinización a veces puede exacerbar los problemas de un sector de recursos hídricos con un funcionamiento deficiente^{84,99}, por lo que las mejores oportunidades de implementación se encuentran en sectores que tienen un buen funcionamiento, con políticas sobre agua bien definidas,

caracterizados por la disponibilidad y demanda de recursos de agua, pericia técnica, y relativamente poco malgasto e ineficiencia.

Las oportunidades para la desalinización son mayores en los siguientes casos:

- Los recursos de agua dulce son inadecuados para cubrir la demanda (estrés hídrico o escasez de agua).
- Para sistemas de membrana, se dispone de una abundante fuente de agua salobre con baja concentración de sal/STD; o, para sistemas térmicos, la población se ubica en una línea costera con una instalación adyacente (por ejemplo, una planta de energía) que produzca abundante calor residual.
- Los consumidores se oponen a la reutilización de las aguas residuales tratadas (ver sección sobre reutilización de aguas residuales).

Entre las barreras u obstáculos para la desalinización se cuentan impactos ambientales tales como los efectos de la corriente concentrada de residuos sobre los ecosistemas, el impacto de las tomas de agua marina sobre la vida acuática y las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, los impactos ambientales de la desalinización deben sopesarse con los del uso expandido de fuentes de agua dulce (por ejemplo, agotamiento de las aguas subterráneas, desviación de caudales de aguas superficiales)¹⁰². Aunque el agua producto de la OI es casi totalmente pura, es posible que algunos compuestos de posible preocupación puedan encontrarse en dicha agua, por lo que se pueden emplear procesos de pretratamiento o postratamiento para lidiar con esos pocos compuestos que no han sido completamente eliminados por la OI (como por ejemplo, el boro). En el documento guía de la OMS se puede encontrar una descripción de 20 páginas sobre procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) para proyectos de desalinización⁸⁴.

H. Ejemplos y estudios de caso de las diferentes regiones

El documento guía de la OMS proporciona una revisión completa de aspectos de salud, medio ambiente y técnicos, de la planificación e implementación de la desalinización⁸⁴. El informe principal sobre desalinización en el Oriente Medio y Asia Central del Banco Mundial incluye generalidades de otras Áreas Temáticas como marcos institucionales, desarrollo de capacidades y el potencial de participación del sector privado, así como lecciones aprendidas y panoramas generales de la desalinización en 6 países: Argelia, Túnez, Jordán, Uzbekistán, Malta y Chipre¹⁰⁰.

En los Estados Unidos de Norteamérica, el estado de Texas ha compilado estudios de caso de proyectos de desalinización de aguas salobres y agua de mar que abarcan muchos aspectos de la implementación del proceso de desalinización, entre ellos, desarrollo de fuentes de agua salina, tecnologías, economía y finanzas, definición del sitio, manejo de concentrados y otros¹⁰³.

Muchos de los estudios de caso de proyectos de desalinización pueden encontrarse en la literatura académica. La fuente más común de estos es la revista, *Desalination*, publicada por Elsevier.

Tratamiento y Almacenamiento Seguro de Agua Doméstica (TASAD)

Áreas Temáticas: Resiliencia a la degradación de la calidad del agua

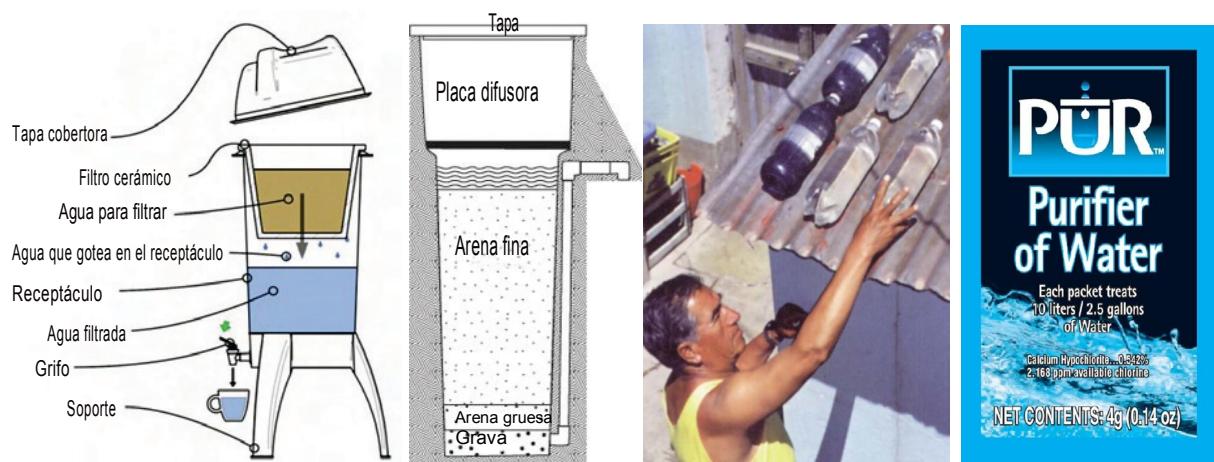
Términos para el Glosario: Punto de uso (PDU), Coagulante, Tratamiento y almacenamiento seguro de agua doméstica

A. ¿En qué consiste la tecnología/práctica?

El ideal es que todos los suministros de agua potable que incorporan protección de fuentes de agua y tratamiento centralizado estén a disposición de todos, pero casi mil millones de personas alrededor del mundo no tienen acceso a una fuente “mejorada” de agua potable y muchas fuentes mejoradas no son seguras y se encuentran distantes de las viviendas^{104,105}. A pesar de la meta de proporcionar un suministro de agua potable seguro y sostenible a todas las personas, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otros organismos internacionales han reconocido el beneficio de enfoques provisionales con metas específicas para quienes solo cuentan con agua potable no segura¹⁰⁶.

El tratamiento de agua potable doméstica o por punto de uso (PDU) y el almacenamiento seguro del recurso ofrecen un medio para mejorar la calidad del agua a través del tratamiento en casa. Las tecnologías de tratamiento populares consisten en desinfectantes químicos, coagulantes, filtros cerámicos, filtros biológicos de arena, procesos de desinfección solar (SODIS, por sus siglas en inglés) o desinfección ultravioleta, y productos combinados con coagulantes y desinfectantes, como por ejemplo el producto PUR de Procter & Gamble^{106,107}. Se ha venido demostrando que estas tecnologías mejoran la calidad microbiológica -en algunos casos también la calidad química- del agua potable y reducen las enfermedades diarreicas^{108,109,110}. En la Figura 5 se muestran cuatro de las tecnologías más ampliamente utilizadas.

Figura 5: Secciones transversales y fotografías de cuatro tecnologías de PDU populares. A la izquierda se encuentran los dos filtros de PDU populares con descripciones de los elementos individuales: el purificador de agua cerámico (extremo izquierdo) y un filtro biológico de arena (BSF, por sus siglas en inglés) (segundo a partir de la izquierda). Ambos dispositivos tienen entre 0,5 y 1 m de alto. La segunda a partir de la derecha es una foto de botellas utilizadas para desinfección solar (SODIS, por sus siglas en inglés) en el techo de una vivienda. A la derecha se observa una imagen del paquete de coagulación/cloración PUR de Procter & Gamble; un paquete individual contiene 4 g de cristales y puede ser utilizado para tratar 10 litros de agua.



Se ha llevado a cabo un análisis del potencial de uso sostenido a largo plazo de las tecnologías que han sido impulsadas en mayor escala por la Red para Promoción del Tratamiento y Almacenamiento Seguro de Agua Doméstica (*HWTS Network*, por sus siglas en inglés) de la OMS, cuyos resultados se resumen en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Puntuación de las tecnologías populares de tratamientos de agua potable en Punto de uso, sobre la base de criterios de sostenibilidad. Los números más altos indican mejor puntaje. Los detalles del método se pueden encontrar en la fuente.

| Tecnología | Cantidad tratada por día | Fuerza para alimentar calidad del agua | Facilidad de uso | Costo por volumen tratado | Necesidad de cadena de suministro local | Puntuación general |
|------------------------|--------------------------|--|------------------|---------------------------|---|--------------------|
| Cloro libre (líquido) | 3 | 1 | 3 | 3 | 1 | 11 |
| Cloro libre (tabletas) | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 10 |
| Coagulación/cloración | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| Desinfección sola | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 9 |
| Filtros cerámicos | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 12 |
| Biofiltros de arena | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 13 |

Fuente: Modificado a partir de Sobsey et al. (2008)¹⁰⁸.

Además de estos, los productos de TASAD fabricados por compañías grandes se han vuelto populares tanto en países desarrollados como en economías emergentes. Estos productos en forma de grifos y cántaros incluyen la línea de sistemas de filtración PUR Procter & Gamble, los filtros Brita y otros similares. Entre los productos comerciales recientemente introducidos para economías emergentes se incluyen las líneas de filtros Pureit de Unilever del Indostán y la línea Tata Swach; ambos filtros están diseñados para colocarlos sobre una mesa o contador, no requieren electricidad ni agua corriente y tienen un depósito de almacenamiento seguro incorporado (Figura 6).

Figura 6: Productos comerciales Purair y Tata Swach. El Pureit (a la izquierda) puede tratar alrededor de 1500 litros de agua (dependiendo del modelo), usando un bloque de carbón para absorber y filtrar las impurezas, seguido de desinfección con cloro. El reemplazo de la unidad de cloro permite el tratamiento de 1.500 litros más. El Tata Swach (a la derecha) usa cascarrilla de arroz y plata para tratar el agua, lo que permite el tratamiento de hasta 3.000 litros antes de que el llamado “bulbo” de tratamiento deba ser reemplazado.



Continuamente siguen surgiendo tecnologías de TASAD. El Programa para Tecnologías Apropriadas en Salud (PATH, *Program for Appropriate Technology in Health*) publicó la revisión más actual de los mecanismos de TASAD disponibles en todo el mundo, la cual incluye evaluaciones cualitativas de

eficacia de tratamiento, impacto sobre la salud, seguridad, costo, aceptabilidad, uso sostenido, cadena de suministros y otros factores para 19 tecnologías populares y 8 mecanismos prometedores todavía en investigación y desarrollo. El cuadro del informe de PATH es demasiado largo como para reproducirlo en el presente documento, pero se puede acceder a él en línea sin costo alguno¹¹¹.

El tratamiento doméstico del agua potable por medio del calor, generalmente hasta el punto de ebullición, ha sido practicado en muchas sociedades durante milenios y es, de lejos, mucho más utilizado que todos los otros métodos de TASAD anteriormente mencionados¹⁰⁶. Es un método altamente efectivo en la eliminación de toda clase de patógenos. Sin embargo, hervir el agua tiene numerosas desventajas y generalmente no es promovido por los especialistas en TASAD. Entre estas desventajas están el tiempo para recolectar combustible, los precios algunas veces prohibitivos y la degradación de la calidad del aire en los ambientes interiores, lo que conlleva mayores riesgos de salud, entre ellos, las infecciones respiratorias. A pesar de esto, ha habido convocatorias recientes para reexaminar los costos y beneficios del hervido y optimizar el proceso¹¹².

El TASAD se ha convertido en una de las opciones técnicas cada vez más promovidas en la comunidad sanitaria internacional desde la introducción del Sistema de Agua Segura (*Safe Water System*) de los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos de Norteamérica (CDC, por sus siglas en inglés), en el año 1992¹¹³. La formación de la Red HWTS de la OMS en 2003 estableció la principal comunidad de práctica para los investigadores, implementadores y defensores de la tecnología TASAD¹¹⁴.

La presente guía se enfoca en el TASAD como una estrategia de adaptación para el cambio climático. Por lo tanto, el énfasis está en su adopción a largo plazo y su optimización. Los principios de la implementación del TASAD en un caso de emergencia o desastre natural son fundamentalmente diferentes. Para lineamientos sobre TASAD, en situaciones de emergencia se incluyen recursos en las Referencias^{115,116}.

B. ¿Cómo contribuye la tecnología/práctica a la adaptación al cambio climático?

Se espera que la degradación de la calidad del agua sea uno de los principales impactos del cambio climático en los recursos hídricos y los suministros de agua. Los proyectados aumentos en inundaciones, sequías, disminución en la disponibilidad de agua, floración algal, inundaciones costeras y elevación del nivel del mar, tienen efectos tanto directos como indirectos en la calidad del agua potable^{117,118}. Los efectos directos tienen lugar, por ejemplo, a través del transporte de residuos fecales y de otro tipo hacia los suministros de agua, o el crecimiento de floración algal dañina. Entre los efectos indirectos sobre la calidad del agua potable están los que ocurren cuando los usuarios se ven forzados a cambiar a suministros de agua potable de menor calidad, como por ejemplo cuando hay una declinación de las napas freáticas y los usuarios tienen que recurrir a aguas superficiales contaminadas. El TASAD aumenta la resiliencia a la degradación de la calidad del agua, permitiendo así a los usuarios mejorar la calidad del agua en el punto de uso.

Se estima que hacia el 2007 existían 18,8 millones de usuarios de TASAD en todo el mundo, con un acelerado crecimiento de aproximadamente 25% al año. La tasa de crecimiento puede haberse incrementado aún más durante los últimos tiempos, con la introducción y popularización de los productos de TASAD Hindustan Unilever, Tata y otros, dirigidos a la clase media de la India (ver Figura 6). Además de estos usuarios de TASAD, a partir de un estudio realizado en 58 países de bajos ingresos, se ha estimado que 350 millones de personas hierven el agua para consumo doméstico. En esta cifra no están incluidas China, Indonesia y otras naciones grandes en las que es común el hervido de agua¹⁰⁶.

C. ¿Cuáles son las contribuciones de la práctica/tecnología para el desarrollo?

Las enfermedades diarreicas pueden ser uno de los componentes fundamentales de la “trampa de la pobreza” que obstaculizan el desarrollo al reducir la productividad económica¹¹⁹. La prevención de enfermedades de transmisión hídrica puede conducir a una mayor asistencia escolar, mayor tiempo en actividades lucrativas y cuidado de los niños, y menor desviación de los limitados recursos financieros en pago de servicios médicos. La desinfección en el PDU apareció como la intervención menos costosa en el análisis que realizó la OMS sobre los costos y beneficios de agua y saneamiento mejorados, lo que resulta en una mejor relación costo-beneficio de entre \$5 y \$60 por dólar invertido¹²⁰.

D. ¿Cuáles son los requerimientos de conocimiento/desarrollo de capacidades?

Para lograr un impacto a largo plazo sobre la salud del usuario es necesario el uso correcto y sostenido de las opciones de TASAD. A pesar de que los dispositivos de TASAD generalmente están diseñados para operarlos y mantenerlos fácilmente, la complejidad del diseño y los requerimientos de durabilidad, funcionamiento y mantenimiento varían. Además, algunas tecnologías de TASAD (por ejemplo, los desinfectantes químicos) son fungibles y deben ser reemplazados con frecuencia. Aunque la investigación sobre los factores que afectan las tasas de uso de TASAD está evolucionando, la evidencia indica, en su mayoría, que las tecnologías durables (por ejemplo, filtros) que no necesitan de componentes fungibles tienen tasas más elevadas de uso sostenido después de su implementación^{108,121}.

Los miembros de la Red HWTS han producido hojas técnicas y otras herramientas de implementación concisas para dispositivos y programas de TASAD, los cuales proporcionan resúmenes simples de investigaciones, mejores prácticas, instrumentos de capacitación y lecciones aprendidas de la implementación para muchos mecanismos de TASAD populares¹²². En la sección H se puede encontrar una descripción más detallada de estos recursos.

E. ¿Cuáles son los requerimientos institucionales/ organizativos?

El TASAD es una tecnología que se opera y maneja fundamentalmente en el hogar, por lo tanto, existen pocos o ningún requerimiento institucional u organizativo. No obstante se ha visto que la optimización del TASAD es un desafío. Un informe de la OMS examina el estado global del TASAD y presenta las 10 recomendaciones esenciales para perfeccionarlo (lista inferior) que se discuten en mayor detalle en el presente informe¹⁰⁶:

1. Enfocarse en los usuarios.
2. Desarrollar y recurrir al empleo de socios.
3. Mejorar y ampliar la información sobre el hervido de agua.
4. Continuar intentando estrategias no comerciales.
5. Continuar intentando estrategias impulsadas por el mercado.
6. Apalancar fortalezas locales existentes.
7. Iniciar investigaciones prácticas relevantes y hacer uso de ellas.
8. Superar las barreras de políticas públicas para lograr progresos en el TASAD.
9. Comprometer a los gobiernos nacionales y regionales.
10. Comprometer a entidades/personalidades internacionales en el apoyo al TASAD.

F. ¿Cuáles son los costos y los requerimientos financieros?

Cuando se considera la propiedad de un programa de implementación de TASAD, para una comunidad específica, se debe tener en cuenta tanto los costos de capital como los continuos. Algunas tecnologías (como por ejemplo, los desinfectantes químicos) tienen pocos costos de capital, o quizás ninguno, pero deben realizarse compras periódicas; otras (por ejemplo, los biofiltros de arena) tienen costos iniciales relativamente altos, mientras que sus costos continuos son reducidos o inexistentes.

Los costos asociados con la capacitación y educación de los usuarios excederán todos los costos asociados con el “equipo” de TASAD. Como ejemplo tenemos la desinfección solar (SODIS). En muchos casos, la SODIS puede practicarse con costos insignificantes, ya sea de capital o continuos. Sin embargo, la captación y el uso sostenido no pueden lograrse sin una inversión significativa en capacitación y educación. Independientemente de la tecnología, es probable que los intentos por implementar los programas de TASAD sin un componente educativo sustancial reduzcan la sostenibilidad e impacto a largo plazo.

Muchos de los programas de implementación del TASAD son promovidos por los donantes, quienes ofrecen subsidios parciales o totales de los costos de los productos. Los programas de TASAD impulsados por donantes han sido exitosos en algunos casos, particularmente en los campos de refugiados, después de desastres naturales y durante brotes de enfermedades de transmisión por el agua. El subsidio especializado puede usarse para establecer productos en un mercado, pero los programas subsidiados de TASAD pueden distorsionar el mercado y socavar los esfuerzos a largo plazo para alcanzar su uso a gran escala^{123,124}. Los argumentos en pro y contra del subsidio son materia de un informe producido en 2006 por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés)¹²⁹.

Los enfoques de recuperación del costo total brindan el mayor potencial para alcanzar el aumento paulatino de su empleo, como lo demuestran estudios recientes sobre recuperación de costo total y mecanismos de mercado para aumentar el empleo de TASAD^{126,127,128,129}. Los enfoques de marketing social pueden resultar efectivos para algunos escenarios¹³⁰. En la sección H se describen y presentan referencias para estudios de caso de numerosos programas de TASAD que abarcan diversas tecnologías y enfoques financieros.

G. ¿Cuáles son las barreras y oportunidades de implementación?

Por lo general, las oportunidades para la implementación del TASAD son óptimas (1) en medio de un brote de enfermedades transmitidas por agua, o (2) cuando se percibe que los beneficios del TASAD no relacionados a la salud son altos. El TASAD no brinda los principales beneficios relacionados con la salud de un suministro de agua potable mejorada en casa, tales como el ahorro de tiempo derivado de no tener que ir a recogerla. Sin embargo, existen otros beneficios no sanitarios como la mejora estética de la calidad del agua, los ahorros en costos sobre otras fuentes de agua (por ejemplo, agua embotellada o comercial) y el estatus social asociado con la posibilidad de ofrecer agua potable a sus visitas. Realizar un marketing del TASAD como un producto “deseable” asociado con un mejor estilo de vida puede ser una forma de mejorar su adopción¹³⁰.

La mayoría de esfuerzos de marketing de productos de TASAD consumibles, en épocas que no corresponden a crisis, han conducido a una adopción y uso sostenido modestos; pero existe evidencia reciente de que los potenciales consumidores que conocen los productos de TASAD a través de campañas de marketing se volcarán a esos productos cuando perciban que la necesidad es mayor (por ejemplo, durante un brote de enfermedad transmitida por agua)¹³¹.

H. Ejemplos y estudios de caso de diferentes regiones

Desde el Establecimiento de la Red HWTS en el año 2003, la literatura respecto de este tema ha crecido exponencialmente. En el sitio web de *USAID Environmental Health* (Salud Ambiental del Programa de Asistencia al Desarrollo Internacional de los Estados Unidos de Norteamérica) se puede encontrar bibliografía de artículos e informes publicados hasta finales de 2006 con breves resúmenes y vínculos con fuentes en línea¹³². Se han publicado actualizaciones periódicas a esta bibliografía, conjuntamente con enlaces a informes, presentaciones en conferencias y actividades auspiciadas por USAID¹³³. Para una revisión cualitativa de las tecnologías de TASAD o en desarrollo hacia fines de 2010, ver el informe Panorama Global de los Productos TASAD (*Global Landscape of HWTS Products*) de PATH¹¹¹.

Existe una amplia disponibilidad de materiales de capacitación, tanto para tecnologías de TASAD generales como específicas. Algunos de estos recursos han sido citados en secciones anteriores o se puede acceder a ellos a través de vínculos desde la página *Fact sheets and tools* del sitio web de la Red HWTS. Entre otros materiales y recursos de capacitación podemos nombrar los siguientes:

- Centro para Tecnología Accesible de Agua y Saneamiento (*CAWST, Centre for Affordable Water and Sanitation Technology*) materiales de capacitación para biofiltros de arena y otras intervenciones de salud comunitaria¹³⁴.
- Recursos para el Desarrollo Internacional (*Resources Development International*) Camboya: materiales sobre fabricación e implementación de filtros de recipientes cerámicos¹³⁵.
- SODIS agua segura para todos (*SODIS, Safe drinking water for all*) — materiales de capacitación sobre desinfección solar¹³⁶.
- Centros para el Control y Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos (*CDC, US Centers for Disease Control and Prevention*) materiales de cloración y almacenamiento seguro¹³⁷.

El Informe de la OMS sobre optimización del TASAD contiene estudios de caso sobre numerosas tecnologías y escenarios (ver sección 3 de dicho informe)¹⁰⁶. Otros informes citados anteriormente también incluyen secciones o anexos dedicados a los estudios de caso y lecciones aprendidas de diversos proyectos^{123,125,126,127,128,129,130}.

Mejorando la Resiliencia de los Pozos Protegidos a las Inundaciones

Áreas Temáticas: Preparación para fenómenos climáticos extremos.

Términos para el Glosario: Pozo perforado, Pozo entubado, Inundación, Brocal (pozo), Encamisado (pozo)

A. ¿En qué consiste la tecnología/práctica?

Potencialmente, los pozos protegidos pueden proporcionar un suministro de agua que es altamente resiliente a las inundaciones; sin embargo, un diseño y construcción inadecuados los pueden volver vulnerables a este mismo fenómeno. Las principales vulnerabilidades de los pozos durante las inundaciones son: (1) ingreso o infiltración de aguas contaminadas, (2) imposibilidad de acceso al cabezal de pozo debido a las aguas de la inundación, y (3) colapso de los pozos excavados a mano y no revestidos cuando se satura el suelo¹³⁸. El presente capítulo trata sobre el diseño, construcción y rehabilitación de pozos excavados, pozos entubados y pozos perforados, para lograr una alta resiliencia a las inundaciones.

Los pozos protegidos incluyen pozos entubados, pozos perforados y pozos excavados (manualmente). Los dos primeros tienen diámetros pequeños y penetran hasta una capa con agua de la subsuperficie. La perforación se encamisa a profundidad total o parcial. Esto se describe en mayor detalle en el punto Pozos Perforados/Pozos Entubados como Forma de Intervención para Suministro de Agua Doméstica Durante Épocas de Sequía del presente capítulo. Los pozos excavados generalmente son más susceptibles a la contaminación que los anteriores, pero los que cuentan con protección también pueden proporcionar agua “mejorada” para beber. Las ventajas de los pozos excavados incluyen menores costos de construcción y, por lo general, mayor rendimiento de volumen por profundidad (debido a que su diámetro usualmente es mayor)^{138,139,140}.

Entre las características resaltantes de todos los pozos protegidos están las siguientes: (1) un brocal de concreto para alejar las aguas superficiales del pozo; (2) un sello sanitario (arcilla normal, lechada y concreto) que se extiende por lo menos 1 a 3 m por debajo del nivel del suelo para evitar la infiltración de contaminantes, y (3) un método para acceder al agua que permita sellarlo tras su uso. Las bombas manuales pueden servir en la mayoría de pozos (incluidos los excavados a mano) para mejorar la conveniencia y reducir la probabilidad de contaminación^{138,142,141}.

La ubicación es otro parámetro clave en la evaluación de la vulnerabilidad de los pozos a las inundaciones. La construcción de los pozos de agua para beber en las vecindades de instalaciones sanitarias puede llevar a la contaminación a través del transporte subsuperficial de patógenos fecales, particularmente durante las inundaciones. Los pozos deben construirse arriba de la gradiente hidráulica (usualmente aguas arriba) de letrinas y desechos animales. La distancia mínima recomendada entre un pozo y una letrina simple es 30 m, pero en asentamientos donde la densidad de letrinas es elevada, a menudo se necesitan distancias mayores¹⁴².

Muchas de las principales vulnerabilidades relacionadas con las inundaciones pueden identificarse realizando un “levantamiento sanitario” de todos los pozos de agua potable. En el Anexo 2 de la Segunda Edición de las Guías para la Calidad del Agua Potable de la OMS (*GDWQ, Guidelines for Drinking Water Quality*)¹⁴³, se pueden encontrar formularios para el levantamiento sanitario con ilustraciones para guiar la inspección en muchas variedades de pozos. Otros aspectos de diseños de pozos que son relevantes para los casos de inundación figuran en el Capítulo 6 de la Segunda Edición del GDWQ; entre ellos se encuentran las recomendaciones sobre la profundidad del sello sanitario (3 m) y el entubado (hasta la napa freática) para los pozos entubados. Se recomienda que la altura mínima del encamisado por sobre la superficie sea de 30 cm. Sin embargo, en áreas propensas a inundación, debería ser mayor¹⁴⁰.

Además de la protección a los pozos que actualmente se utilizan para agua potable, el sellado de pozos abandonados también es fundamental para proteger la calidad de las aguas subterráneas en zonas de inundación¹⁴¹. En caso de que un pozo abandonado no esté sellado apropiadamente, las aguas de

inundación que lleguen a dicho pozo pueden contaminar tanto las aguas subterráneas someras como las profundas.

La rehabilitación de los pozos de agua potable por medio de la elevación de bombas manuales ha sido una práctica sistemática en las áreas propensas a inundaciones de Uttar Pradesh, India. En la Figura 7 se muestra un ejemplo de bomba manual a prueba de inundaciones. Más adelante ofrecemos mayores detalles de los costos y éxitos del programa^{190,191}.

Figura 7: Bomba manual a prueba de inundaciones en Uttar Pradesh, India. El brocal es de 1m de altura y 2,9 m de diámetro. La pendiente de la base es 45°, lo suficientemente gradual como para prevenir daños a dicha base durante una inundación torrencial.



En esta sección del Capítulo 4 se abordan las intervenciones preferenciales de prueba contra inundaciones que pueden generalizarse para la mayor parte de los tipos de inundaciones y escenarios. Sin embargo, la magnitud, el tiempo de inicio y el escenario pueden diferir ampliamente. Global WASH Cluster ha publicado descripciones de las diferentes clases de inundaciones y la guía sobre preparación y respuesta en los escenarios urbanos¹⁴⁸ y rurales¹⁴⁹.

B. ¿Cómo contribuye la tecnología/práctica a la adaptación al cambio climático?

Es altamente probable que un clima más cálido derive en precipitaciones más frecuentes e intensas, y mayores inundaciones¹⁴⁴. Las inundaciones pueden tener como consecuencia la contaminación de los pozos de agua potable y también pueden evitar el acceso físico a ellos cuando las aguas de la inundación tienen un nivel lo suficientemente alto.

C. ¿Cuáles son las contribuciones de la tecnología/práctica al desarrollo?

La salud comunitaria y la actividad económica requieren continuidad en el suministro de agua segura. El sellado de pozos y su elevación pueden ayudar a evitar tanto la contaminación del agua potable como la

pérdida del acceso físico al cabezal del pozo. El aseguramiento del acceso continuo al agua potable disminuye la posibilidad de desplazamiento, para las poblaciones, durante episodios de inundación moderados.

D. ¿Cuáles son los requerimientos de conocimiento/ desarrollo de capacidades?

Es necesario contar con algún conocimiento básico de tecnologías de suministro de agua y principios de salud pública para realizar los levantamientos sanitarios¹⁴⁵. También se debe tener experiencia en la perforación de un tipo dado de pozo y capacidades básicas de construcción en concreto.

El realizar un levantamiento de la distribución de la población, y de la ubicación, elevación y condición de los puntos de agua, puede mejorar considerablemente la eficiencia de los programas a prueba de inundaciones. Un estudio de este tipo debería extrapolarse a mapas de llanuras de inundación para determinar las áreas de prioridad para los pozos a prueba de inundaciones. Este procedimiento puede servir para asegurar que los siguientes lineamientos de emergencia de la OMS ya estén cubiertos cuando ocurra la inundación: (1) por lo menos un punto de agua está funcionando por cada 250 personas, y (2) la distancia máxima entre cualquier refugio y un punto de agua es menor a 500 metros¹⁴⁶.

E. ¿Cuáles son los requerimientos institucionales/ organizativos?

Puede ser necesario llevar a cabo un programa de capacitación o certificación para quienes realizan levantamientos sanitarios de pozos en áreas sujetas a inundaciones. Asimismo se requiere cierta capacidad institucional para determinar si se deben asignar fondos públicos a la construcción o rehabilitación de pozos, y dónde y cómo se debe realizar dicha asignación (ver sección D).

F. ¿Cuáles son los requerimientos de costos y financieros?

La construcción de pozos nuevos es muy cara y a menudo requiere torres de perforación u otro equipo especializado. La rehabilitación para protección contra las inundaciones generalmente se logra con suministros de construcción básicos a nivel del suelo o cerca a este. Los costos de rehabilitación de pozos para épocas de sequía elevando el brocal del pozo y la bomba manual (Figura 7) se estimaron en \$315 por pozo en la India¹⁹⁰. Por comparación, los costos para instalar un pozo perforado nuevo dependen mucho del tipo de suelo, profundidad de la napa freática y otros factores; es así que dichos costos se han reportado entre \$1.000 y \$1.500 en India, y \$10.000 a \$15.000 en algunas partes de África¹⁴⁷.

G. ¿Cuáles son las barreras y las oportunidades para la implementación?

La frecuencia de inundaciones que impide temporalmente el acceso a las bombas manuales ha hecho que los pobladores locales aumenten su demanda por mecanismos a prueba de inundaciones¹⁵⁰. Es menos probable que las comunidades con suministros de agua alternativos (por ejemplo, tuberías) demanden o tengan interés en invertir en pozos a prueba de inundaciones.

H. Ejemplos y estudios de caso de diferentes regiones

Existen descripciones de los distintos tipos de inundaciones (predecibles regulares, predecibles por aumento de volumen, repentinas, de inicio lento e inundaciones costera) tanto para contextos urbanos como rurales. Las características y duraciones de estos eventos de inundación y los factores locales fundamentales tienen fuertes impactos sobre aspectos del agua y saneamiento ante las inundaciones. Para mayores detalles, véase la sección de Referencias en lo concerniente a áreas urbanas¹⁴⁸ y rurales¹⁴⁹.

En el capítulo 18, Protección de las Aguas Subterráneas para la Salud (*Protecting Groundwater for Health*), del libro de la Asociación Internacional del Agua (IWA, *International Water Association*) hay guías claras sobre la planificación, diseño y construcción de las obras de protección sanitaria alrededor de los pozos de agua potable¹⁴¹.

En la Internet se puede encontrar un estudio de caso de un programa para bombas manuales a prueba de inundaciones en Uttar Pradesh (India), conjuntamente con una relación de noticias sobre el programa¹⁵¹.

Aumento del Empleo de Accesorios y Dispositivos de Uso Eficiente de Agua

Áreas Temáticas: Conservación de agua

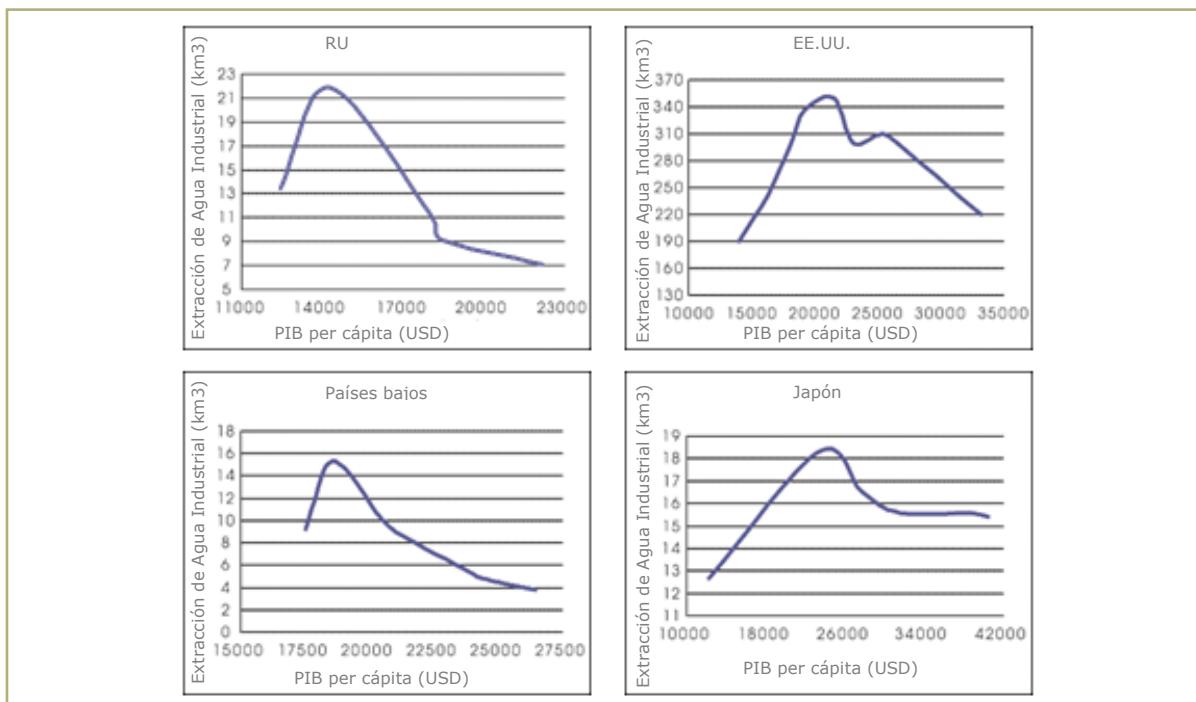
Términos para el Glosario: Curva Ambiental de Kuznets (EKC); Accesorios para agua

A. ¿En qué consiste la tecnología/práctica?

Existen ciertas pruebas según las cuales el uso de agua per cápita en una sociedad sigue el patrón de la Curva Ambiental de Kuznets (*EKC, Environmental Kuznets Curve*)^{152,153}, es decir, que dicho uso aumenta rápidamente con el desarrollo económico hasta un “punto de retorno” donde empieza a declinar (Figura 8).

Como ejemplo de países industrializados que han experimentado una disminución en el uso de agua per cápita tenemos a los Estados Unidos y el Japón. En los Estados Unidos, el uso de agua per cápita alcanzó su nivel máximo en 1975 y luego bajó en casi un 30% durante los siguientes 30 años¹⁵⁴. Aunque la mayor parte del progreso de los Estados Unidos ha sido atribuido a su mejorada eficiencia industrial y agrícola, el empleo de dispositivos y accesorios de agua eficientes en los hogares, instituciones y negocios puede contribuir en gran forma a los esfuerzos de conservación de recursos hídricos. En el Japón, el uso de agua per cápita residencial aumentó en aproximadamente 25% en la década de 1980, se stabilizó en la de los 90 y empezó a descender en el 2000. Este avance ha sido atribuido al empleo de accesorios y dispositivos de uso eficiente de agua¹⁵⁵.

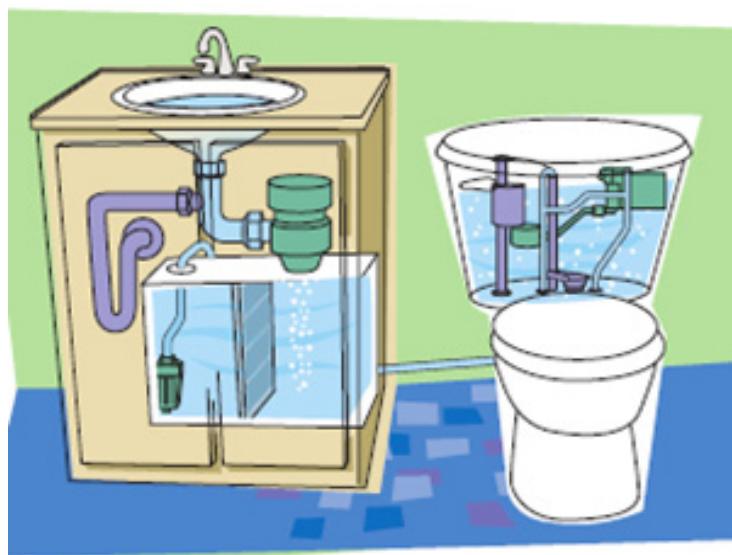
Figura 8: Uso de agua industrial vs. PIB per cápita en EE. UU., RU, Japón y Países Bajos



Fuente: Adaptado de Yang et al.

Entre los artefactos eficientes en el uso de agua están las lavadoras de platos y de ropa; los accesorios más populares incluyen los inodoros, duchas y grifos, pues simplemente pueden usar menos agua al mismo tiempo que tienen un rendimiento comparable al de otros mecanismos (por ejemplo, las duchas de bajo flujo). Como alternativa se tienen dispositivos que usan las aguas grises del lavabo para la limpieza del inodoro (ver Figura 9). Existen otros productos que ofrecen información visual o audible al usuario acerca del consumo del recurso y se basan en el cambio de comportamiento¹⁵⁶.

Figura 9: El inodoro Aqus™ utiliza las aguas grises del lavabo para la limpieza



Fuente: Elizondo y Lofthouse (2010)¹⁵⁶

La transferencia de tecnologías eficientes en el uso de agua de países ricos a naciones en vías de desarrollo puede acelerar potencialmente el avance hacia el “punto de retorno” de la EKC y colaborar en la conservación de recursos hídricos³³. Es necesario promover la disponibilidad de artefactos eficientes en el mercado, pero esto por sí solo no es suficiente. A continuación se discuten las tres principales estrategias para incrementar el empleo de artefactos y dispositivos eficientes en el uso de agua:

- Obligatoriedad – Establecer normas sobre el uso eficiente de agua para construcciones nuevas, y reemplazo de dispositivos y artefactos antiguos: ordenar el empleo de productos de uso eficiente de agua en instalaciones gubernamentales.
- Etiquetado – Utilizar sistemas de certificación para productos de uso eficiente de agua; añadir el costo estimado de uso, también denominado “rótulo de segundo precio” a las etiquetas.
- Incentivos tributarios – Aplicar estos incentivos a la compra e instalación de productos eficientes, la rehabilitación y el reemplazo de dispositivos antiguos.

Pasamos a discutir brevemente cómo se han utilizado estas tres estrategias en los Estados Unidos. Para mayores ejemplos, ver la sección H de esta unidad (Ejemplos y Estudios de Caso de Diferentes Regiones). Además de esto, algunos proveedores de servicio público de agua han intentado la distribución gratuita de duchas de bajo flujo de bajo costo, en un esfuerzo por reducir la presión sobre los suministros de este recurso¹⁵⁸.

Obligatoriedad: En 1992, el Gobierno de los Estados Unidos emitió normas sobre la eficiencia mínima en el uso del agua para instalaciones nuevas a nivel federal (Cuadro 3). Se estima que la decisión de ordenar el nivel mínimo de 6 litros/chorro de limpieza de inodoro implica un ahorro de casi 8 millones de metros cúbicos de agua por día en los Estados Unidos¹⁵⁹.

Cuadro 3: El Gobierno de los Estados Unidos legisló normas mínimas para eficiencia en el uso de agua para nuevos dispositivos de instalaciones sanitarias, en vigencia desde 1992.

| Dispositivo | Volumen |
|------------------|-----------------------------------|
| Wáter (Inodoros) | 6 litros por chorro de limpieza |
| Duchas | 9,5 litros por minuto |
| Grifos | 8,3 litros por minuto |
| Urinales | 3,8 litros por chorro de limpieza |

Fuente: Dickinson, 2000¹⁵⁹.

Etiquetado: La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés) ha implementado la certificación *Energy Star*, la certificación WaterSense y otros programas de etiquetas. Los productos que usan agua requieren electricidad (por ejemplo, lavadoras de ropa y de vajilla) y deben cumplir con las normas de eficiencia de uso de energía y agua para calificar a una etiqueta *Energy Star*¹⁶⁰. Los productos WaterSense deben exceder las normas mínimas de eficiencia de uso de agua y generalmente utilizan cerca 20% menos de agua que los productos promedio de su misma categoría¹⁶¹.

Además de la certificación general, las etiquetas pueden incorporar estimados de uso de agua anual o del ciclo de vida, o el costo de operación y cómo se compara con otros productos del mismo género. Por lo tanto, el consumidor puede ser concientizado acerca del “rótulo de segundo precio” (el costo de operación del artefacto en su ciclo de vida) y darse cuenta de los ahorros a largo plazo.

Incentivos tributarios: Además de los ahorros atribuibles a los menores costos de operación, los gobiernos pueden proporcionar más incentivos financieros ofreciendo devoluciones tributarias por la compra e instalación de artefactos y dispositivos de uso eficiente de agua. El gobierno de los Estados Unidos brinda incentivos de este tipo por la compra de algunos productos que generan ahorros de energía y también financia programas de reembolso a cargo de los gobiernos locales.

Aunque importantes y efectivas, estas son solo algunas de las estrategias utilizadas para reducir el uso de agua residencial. También son medidas importantes para este fin educar a los usuarios, medir las viviendas individuales, implementar precios por volumen, arreglar las fugas y limitar el uso de agua en exteriores^{156,162}.

B. ¿Cómo contribuye la tecnología/práctica a la adaptación al cambio climático?

Es altamente probable que un clima más cálido tenga como consecuencia sequías más frecuentes¹⁶³. Además, el crecimiento de la población empujará a muchos países hacia el estrés hídrico y la escasez de agua para el año 2050. La conservación del agua es una parte esencial de las estrategias integrales para reducir la presión sobre los recursos hídricos existentes. Los sectores industrial y agrícola son responsables de la mayor parte del uso global de agua dulce. Sin embargo, los informes del *Pacific Institute* sobre extracciones totales de agua dulce de 163 países señalan que el uso residencial de la media de países da cuenta del 16% de este tipo de extracciones¹⁶⁴. Por lo tanto, los esfuerzos de conservación a nivel residencial pueden constituir una contribución positiva para reducir la presión sobre los recursos hídricos.

La reducción del uso de agua en los sistemas municipales también contribuye a la mitigación del cambio climático, la disminución del consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. La conservación de agua puede conllevar a considerables ahorros en la energía necesaria para el transporte, tratamiento y distribución de agua por tubería¹⁶⁵.

C. ¿Cuáles son las contribuciones de la tecnología/práctica al desarrollo?

El mayor acceso al agua corriente en las viviendas genera grandes ganancias en las áreas de salud y desarrollo; sin embargo, la demanda de agua doméstica aumenta rápidamente a medida que las familias tienen acceso a artefactos e instalaciones sanitarias de uso intensivo de agua¹⁶⁶. Por otro lado, cuando la población crece y los recursos se ven sometidos a estrés, el desarrollo económico se puede ver obstaculizado¹⁶⁷. La implementación de las medidas de eficiencia de uso de agua residencial puede demorar el inicio del estrés hídrico y preservar los recursos de agua.

D. ¿Cuáles son los requerimientos de conocimiento/desarrollo de capacidades?

Una infraestructura para el establecimiento de estándares, pruebas y certificación de productos de uso eficiente de agua que funcione requiere pericia en una serie de áreas. Los profesionales con experiencia en el establecimiento de normas y certificación en otros sectores pueden transferir sus conocimientos al campo de la eficiencia en el uso de agua. Otra de las alternativas es adoptar estos elementos, total o parcialmente, de un país cercano donde generalmente se dispone de los mismos productos.

Independientemente del mecanismo utilizado para fomentar la conservación del agua se debe educar a los responsables de las políticas y los residentes. Las iniciativas para promover la conservación de este recurso pueden tener un carácter práctico en las escuelas, a través de los medios de comunicación y por otras vías. La difusión de marcas y el marketing son necesarios para cualquier sistema de certificación, de manera que los residentes conozcan la etiqueta y la asocien con la calidad y la eficiencia.

E. ¿Cuáles son los requerimientos institucionales/ organizativos?

Aumentar el empleo de artefactos de uso eficiente de agua es un reto institucional. Aunque algunos pobladores pueden verse motivados a ahorrar agua debido a preocupaciones ambientales, es posible que en varios casos se deba dar incentivos económicos o de otro tipo para promover o imponer la instalación, producción y venta de dichos artefactos^{156,168,169}. Es necesario cumplir con procesos transparentes para establecer estándares, probar y certificar los productos individuales. Además, la aplicación de incentivos tributarios requiere de una estructura impositiva que permita exoneraciones (por ejemplo, del impuesto a las ventas) o créditos fiscales para ciertas compras.

F. ¿Cuáles son los requerimientos de costos y financieros?

El establecimiento de un proceso de certificación puede ser costoso, dependiendo de la capacidad existente. Sin embargo, los costos para las viviendas individuales generalmente son reducidos y pueden recuperarse totalmente a través de los ahorros en agua a lo largo de la vida útil del producto.

G. ¿Cuáles son las barreras y las oportunidades para la implementación?

El potencial para el fraude o la corrupción en un proceso de certificación y etiquetado es un desafío. Inclusive un país como los Estados Unidos, que tiene un sistema de certificación y un sistema legal

que funcionan relativamente bien, ha tenido que luchar para que las etiquetas *Energy Star* reflejen fielmente el uso de la energía¹⁷⁰. Las tarifas fijas de agua (no medidas) constituyen un gran obstáculo para la implementación de programas de conservación de agua residencial ya que eliminan los incentivos financieros para este fin. Los códigos tributarios bien desarrollados o la capacidad para exonerar, a ciertos productos, del impuesto a las ventas ofrecen oportunidades para incentivos adicionales.

Las poblaciones que perciben la importancia de la conservación ambiental y de los recursos hídricos generalmente se muestran más abiertas a un cambio de comportamiento con respecto al agua. En algunas zonas, donde la gente guarda fuertes lazos con sus comunidades, se observa mayor voluntad para dejar de lado los intereses personales y conservar un recurso común¹⁶⁹.

H. Ejemplos y estudios de caso de diferentes regiones

La visión general más concienzuda sobre normas de eficiencia en el uso de agua en todo el mundo se encuentra en el informe de la Unión Europea (UE) del año 2009. Actualmente la UE no cuenta con normas obligatorias de eficiencia publicadas para productos que hacen uso de agua, pero se espera tenerlas pronto a través de la Directiva *Ecodesign*. El informe proporciona una revisión general de las medidas voluntarias y obligatorias al interior de la UE, en los estados miembros y alrededor del mundo. Ofrece también recuentos detallados de los impactos de las políticas existentes, las ganancias anticipadas en la eficiencia si se implementan las normas obligatorias, los procedimientos de prueba del producto, las opciones de políticas y otros temas de valioso contenido. Los principales hallazgos del informe que pueden ser útiles para los actores externos a la UE son los siguientes:

- En Europa, los dispositivos que producirían los mayores ahorros de agua si fueran reemplazados por productos de uso de agua más eficientes son las lavadoras de platos (55% menos de agua), los inodoros (53%) y las lavadoras de ropa (32%). El reemplazo de todos los artefactos residenciales estándar con productos más eficientes resultaría en una reducción general del 32% (más de 40.000 litros por vivienda).
- A través de la Directiva de *Ecodesign*, las normas obligatorias de consumo de agua para los dispositivos más importantes en el uso de agua conducirían a una reducción del 20% en las necesidades de suministro público de agua. La exclusión de mecanismos que no consumen energía directamente (por ejemplo, duchas e inodoros) disminuiría la efectividad de un programa de esta naturaleza, reduciendo los ahorros en el suministro público de agua de 20% a solo 6%. Comparándolos con las normas obligatorias, los programas de etiquetado voluntario generarian beneficios muchos menores, que conllevarían únicamente a una reducción del 0,7% en las necesidades de suministro público de agua.
- Los ahorros directos en energía para accesorios de uso eficiente de agua (duchas, grifos y tinas) son significativos ya que reducen el consumo de energía en calefones en un 20%, lo que representa el 0,5% del total de suministro de energía primaria de la UE¹⁷¹.

La ONG británica *Waterwise* preparó un informe sobre la eficiencia en el uso de agua en el Reino Unido que incluye más de 40 propuestas específicas para la mejora en la eficiencia en el uso de agua, muchas de las cuales son aplicables en general y no específicas para Gran Bretaña¹⁷².

Existe información sobre artefactos de uso eficiente de agua en Japón, el incremento en las tasas de uso y las referencias a las descripciones en lengua japonesa de las iniciativas locales en este campo¹⁵⁵.

En internet se ofrece un amplio número de programas de los Estados Unidos de Norteamérica para la conservación de agua y energía. Se pueden ver los estudios de caso de 17 comunidades de ese país que implementaron exitosamente programas de conservación de agua, muchas de las cuales recurrieron a programas para aumentar el empleo de accesorios y artefactos de uso eficiente de agua¹⁵⁸. El *US Geological Survey* (Instituto Geológico de los Estados Unidos, USGS, por sus siglas en inglés) mantiene una base de datos detallada del uso de agua residencial en los Estados Unidos, la cual es actualizada cada 5 años. En la red se pueden encontrar muchos otros documentos que describen métodos y datos¹⁷³. Otros recursos en línea incluyen una calculadora para estimar los ahorros del uso de los productos *WaterSense*¹⁷⁴ y las descripciones claras de los estándares *Energy Star* para todas las categorías de productos¹⁶⁰.

Se han encontrado normas obligatorias para Australia, Nueva Zelanda, España, Italia, Reino Unido y Singapur, así como normas voluntarias para otros países asiáticos y europeos. No se cuenta con información sobre normas para agua residencial en América Latina o África.

Manejo, Detección y Reparación de Fugas en Sistemas de Agua Corriente

Áreas Temáticas: Conservación de agua

Términos para el Glosario: Agua no rentable (*ANR, Non Revenue Water*), Agua no contabilizada (*UFW, Unaccounted for Water*), Consumo no autorizado, Pérdidas aparentes, Pérdidas reales, Auditoría de agua, Manejo de fugas

A. ¿En qué consiste la tecnología/práctica?

El agua no rentable es la diferencia entre el volumen de ingreso a un sistema municipal (por ejemplo, una planta de tratamiento) y el consumo autorizado facturado (es decir, agua por la que la empresa de servicios recibe pago). El término ha reemplazado en gran medida el de “agua no contabilizada” entre los profesionales del área y es el que usamos en este documento. El ANR expresa comúnmente un porcentaje del volumen total ingresado a un sistema. En estudios realizados en ciudades de Latinoamérica e India se encontró que más del 40% del agua ingresada se perdía como ANR^{175,176,177}.

El ANR comprende tres categorías: consumo autorizado no facturado, pérdidas aparentes y pérdidas reales. El consumo autorizado no facturado (por ejemplo, agua donada a organizaciones sin fines de lucro) usualmente representa una pequeña fracción del total. Las pérdidas aparentes incluyen el consumo no autorizado (por ejemplo, conexiones ilegales) y mediciones inexactas, las cuales a menudo corresponden a un porcentaje considerable del ANR, especialmente en los países en desarrollo. Las pérdidas reales consisten en el agua que se pierde físicamente del sistema antes de llegar al medidor de agua del consumidor. Un pequeño porcentaje de esta categoría puede incluir un rebalse de los tanques de almacenamiento de propiedad de la empresa del servicio público, pero la vasta mayoría de las pérdidas reales se deben a fugas en el sistema de distribución; este capítulo se enfoca en la detección y solución de dichas fugas.

Las fugas de los sistemas de distribución constituyen uno de los principales problemas de las empresas proveedoras de este servicio en todo el mundo, independientemente de si se trata de países desarrollados o en desarrollo. En muchas naciones industrializadas, las tuberías de distribución de agua fueron instaladas hace décadas y están llegando al final de su vida útil. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) ha declarado que el reemplazo o recuperación de los sistemas de distribución y transmisión de agua es una de las mayores necesidades de infraestructura del país. Las tasas de fugas de 10 a 20% se consideran normales y en algunas áreas de ese país, la infraestructura antigua está perdiendo hasta el 50% del agua distribuida¹⁷⁸. En los países en desarrollo, las causas comunes de fuga, además de las tuberías antiguas, incluyen las deficiencias en el diseño y construcción de las redes, los daños a las tuberías expuestas y las fugas en conexiones con sellos deficientes¹⁷⁷.

Aunque a menudo no se les presta la debida importancia, el manejo, la detección y la reparación de las fugas pequeñas en un sistema de distribución son funciones esenciales para la operación y el mantenimiento del sistema. Las rupturas de las líneas maestras de agua pueden causar daños sensacionales y captar la atención de los medios de comunicación pero esas fallas catastróficas solo corresponden al 1% del agua que se pierde en fugas¹⁷⁸. Algunas fugas pequeñas pueden notarse en la superficie del suelo e identificarse fácilmente pero muchas otras continúan bajo el suelo durante meses o años. Lo más probable es que una fuga menor de 4 litros por minuto continúe así por largos años antes de que se note, mientras que en resultados finales puede generar una pérdida de más de 2 millones de litros por año. Los métodos de manejo de fugas pueden prevenir o reducir el volumen de las fugas y la tecnología de detección de estas puede mejorar la capacidad de las empresas de suministro público de agua para dar una respuesta rápida y repararlas^{178,179}.

Antes de implementar programas formales de manejo, detección y reparación de fugas se debe llevar a cabo una auditoría de aguas para cuantificar su nivel y priorizar las actividades de manejo. Las auditorías de aguas normalmente se realizan monitoreando el ingreso de la cantidad de agua, el flujo a través del sistema de distribución y el uso del consumidor durante un período de bajo flujo (por la noche). Estos son elementos que se usan para cuantificar las pérdidas e identificar las zonas con elevado nivel de fugas.

Existen lugares en los que se puede encontrar mayor información y materiales de capacitación para auditorías de aguas^{177,180}.

Manejo de fugas: En algunos países, las empresas de suministro público de agua afrontan el tema de las fugas en forma reactiva, respondiendo a las fugas identificadas y las auditorías de agua. Sin embargo, el Reino Unido ha desarrollado enfoques proactivos para priorizar la detección de fugas y controlar la presión del sistema. En resumen, el aislar áreas pequeñas de casas donde se realizan mediciones da la fuga total para un área específica permite dirigir los métodos de detección intensivos hacia las zonas principales. El manejo de la presión por medio de la reducción de las presiones del sistema durante horas de baja demanda puede llevar a un decremento a largo plazo en el volumen perdido debido a las fugas y ampliar la vida de las tuberías¹⁷⁹. Sin embargo, la presión continua durante 24 horas debería ser la primera prioridad y el manejo de la presión no debería ser adoptado por las empresas de suministro público que luchan por mantener una presión adecuada durante ese período¹⁸¹. Existen numerosas guías sobre el manejo de fugas¹⁸².

Detección de fugas: Durante los últimos años han aparecido muchas tecnologías nuevas para la detección de fugas. A fines del siglo XX, los principales métodos empleados para este fin eran el acústico, la termografía infrarroja, los rastreadores químicos y los métodos mecánicos. Entre los acústicos, están los micrófonos de suelo, registradores acústicos acoplados a los accesorios de las tuberías, y detectores de fugas sujetos a la línea. Entre las tecnologías nuevas y emergentes están el radar de penetración en suelo (GPR, por sus siglas en inglés), el registrador acústico combinado y los correlacionadores de ruido de fugas, correlacionadores digitales e interferómetros de radiofrecuencia¹⁸³. También se han desarrollado recientemente métodos acústicos más avanzados, incluido mecanismos de detección de fugas no acoplados (por ejemplo, sistemas Sahara® y SmartBall®). En las Referencias se pueden encontrar discusiones detalladas de algunas de estas tecnologías^{179,184,185}.

Los métodos acústicos pueden reconocer las fugas basándose en los patrones característicos del sonido que estas crean; estos métodos han sido, y continúan siendo, el medio más común para este fin. La elección de una tecnología de detección de fugas apropiada debe considerar el material y el diámetro de la tubería en un sistema. Los métodos acústicos se han utilizado exitosamente para la detección de fugas en tuberías metálicas durante muchos años pero su aplicación en tuberías que no son de ese material resulta mucho más cuestionable; los sonidos creados en las tuberías de plástico y concreto tienden a ser de menor frecuencia y atenuarse más rápidamente. A pesar de estos inconvenientes, ha habido innovaciones recientes que han permitido la aplicación exitosa de métodos acústicos de estos tipos de tuberías^{177,178,185,186}.

Reparación de fugas: Las nuevas tecnologías permiten la detección rápida y precisa de fugas, pero invertir en detección rápida resulta fútil a menos que se realicen reparaciones también rápidamente. Reparar tuberías agujereadas generalmente implica cubrir los agujeros desde el exterior de estas e insertar una tubería más pequeña al interior de la que presenta fugas. La complejidad y el tiempo para las reparaciones varía ampliamente, desde hacer que un empleado ajuste una tuerca suelta o coloque tornillos grandes, hasta excavadores que se pasan días reparando una cañería maestra que está profundamente enterrada. Obviamente, cuando se trata de tuberías antiguas, se deben comparar los costos de reparación contra los costos de reemplazo^{177,192}.

Los sistemas de agua con suministro intermitente no pueden beneficiarse de los métodos de manejo de fugas y detección que se han nombrado anteriormente. Para complicar este problema, las fugas son

todavía más serias en los sistemas con este tipo de suministro, donde no siempre se mantiene una concentración de cloro residual y es común la infiltración¹⁸⁵. Se requiere alta presión de agua para poder usar eficazmente el equipo de detección de fugas; por tanto, las alternativas para la detección de fugas en sistemas intermitentes implican el aislamiento de una pequeña porción de la red y cerrar las llaves de paso a los clientes, creando así presión de agua temporal para esa zona, y luego usar un método de detección de fugas convencional o modificado. Los principios básicos de estos métodos pueden buscarse en las Referencias¹⁷⁷.

Las conexiones con medidor son esenciales para la conservación del agua y también pueden servir como un mecanismo de detección de fugas para tuberías, además de los medidores de los clientes, quienes usualmente se quejan a la empresa cuando reciben cuentas inusualmente altas. Como alternativa, un sistema automatizado que contabilice grandes incrementos en cuentas de agua o lecturas de medidores individuales puede alertar al personal de la empresa sobre los problemas señalados. En un estudio realizado en el Reino Unido se encontró que el consumo de agua se redujo en un 10% tras la instalación de medidores¹⁷⁷.

B. ¿Cómo contribuye la tecnología/práctica a la adaptación al cambio climático?

Es altamente probable que un clima más cálido tenga como resultado sequías más frecuentes¹⁸⁸. Además, el crecimiento de la población empujará a muchos países al estrés hídrico y la escasez de agua durante las próximas décadas. La detección y reparación de fugas en los sistemas de agua constituye una parte importante de las estrategias globales para reducir la presión sobre los recursos de agua existentes.

El reducir el uso de agua en los sistemas municipales también contribuye a la mitigación del cambio climático, pues reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. La detección y prevención de fugas en los sistemas agua corriente pueden llevar a grandes ahorros de energía en el transporte, tratamiento y distribución de agua¹⁸⁹.

C. ¿Cuáles son las contribuciones de la tecnología/práctica al desarrollo?

El mayor acceso al agua corriente en los hogares redunda en grandes ganancias para la salud y el desarrollo, pero la desventaja está en que la demanda por cápita de agua aumenta rápidamente durante la transición al desarrollo¹⁹⁰. A medida que la población se expande y que los recursos hídricos se ven sujetos a estrés se puede obstaculizar el desarrollo¹⁹¹, por lo que la prevención de las fugas puede desacelerar el inicio del estrés hídrico y preservar recursos de agua limitados. Además, a menudo estos programas se pagan solos a través de la conservación del agua, los menores costos de tratamiento y distribución, y los gastos más bajos en mantenimiento y reemplazo de tuberías (ver sección F).

D. ¿Cuáles son los requerimientos de conocimiento/desarrollo de capacidades?

El manual de capacitación para manejo y detección de fugas de la OMS es una excelente herramienta para desarrollar capacidades que permitan a las empresas de suministro público de agua realizar su propio entrenamiento de alto nivel a bajo costo¹⁷⁷.

La tecnología de detección de fugas está desarrollándose rápidamente y las grandes empresas de suministro público de agua cuentan con pericia técnica en las tecnologías más adecuadas para el monitoreo de sus sistemas y las tecnologías emergentes de las que pueden beneficiarse.

E. ¿Cuáles son los requerimientos institucionales/ organizativos?

Los elementos institucionales se rigen en gran medida por la percepción de, y las actitudes hacia, el nivel de fuga y el desperdicio de agua al interior de la empresa de suministro público y los organismos políticos¹⁷⁷. Dentro de estas empresas, un clima organizacional de conservación del agua y sostenibilidad financiera puede motivar a los empleados a reducir el nivel de fugas. Si la conservación del agua es vista como una prioridad por la población, particularmente en condiciones de estrés hídrico o durante sequías, los políticos a quienes se les concientice sobre los posibles ahorros de agua pueden ser más receptivos en los aspectos de financiamiento de programas de manejo y detección.

La detección y reparación de fugas puede emprenderse en cualquier sistema de tuberías de agua, pero las tecnologías utilizadas para la detección deben ser apropiadas para los recursos del sistema. En el caso de sistemas de gestión comunitaria y rurales con tuberías sobre superficie se debe dar prioridad a la detección y la reparación. La mayoría de empresas de suministro público pequeñas generalmente deberían contratar a una compañía con el conocimiento apropiado para la detección de fugas.

F. ¿Cuáles son los requerimientos de costos y financieros?

Los costos del manejo, detección y reparación de fugas incluyen los pagos por capacitación, manejo, mano de obra y equipo. Sin embargo, los programas de manejo, detección y reparación de fugas generalmente se pagan por sí solos al hacer posible su solución temprana y la reducción del desperdicio de agua¹⁹². Las fugas generalmente dañan las tuberías por acción de la erosión, por lo tanto, otros de los beneficios de la detección temprana son los menores costos de mantenimiento y la baja probabilidad de fallas catastróficas. De otro lado, el monitoreo remoto de los sistemas también permite la confirmación de que las tuberías se encuentran en buena condición, previniendo de este modo su reemplazo prematuro¹⁷⁹.

El manual de capacitación de la OMS trata en extenso los costos y beneficios de los programas de manejo, detección y reparación de fugas¹⁷⁷.

G. ¿Cuáles son las barreras y las oportunidades para la implementación?

Las oportunidades para programas de manejo, detección y reparación de fugas deberían abundar cuando los responsables de políticas se den cuenta de que los beneficios económicos a menudo exceden los costos. Los beneficios económicos de estos programas son especialmente considerables cuando: (1) los costos de transporte, tratamiento y distribución son altos; (2) la infraestructura es antigua y el nivel de fugas es alto; (3) las rupturas de alto nivel en las cañerías maestras captan la atención de los medios de comunicación y la presión política; (4) existen condiciones para estrés hídrico o escasez de agua, y (5) se valora la conservación del agua.

Por otro lado, es posible que no haya mucha motivación para prevenir las fugas cuando el agua no es cara y abunda, y cuando las empresas de suministro público de agua tienen poco personal o fondos limitados.

H. Ejemplos y estudios de caso de diferentes regiones

La OMS ha publicado un manual de capacitación sobre manejo y control de fugas. El contenido es relevante para todo el personal que trabaja en empresas de suministro público de agua, desde los inspectores de fugas hasta los miembros de la alta gerencia. En el Anexo 2 se incluye un estudio de caso de taller y, en el Anexo 3, otros estudios de caso del Reino Unido, Samoa y las Islas Cook¹⁷⁷.

También existe un informe que contiene tres estudios de caso de Australia con referencia al manejo de fugas a través del control de presión¹⁹³ y un estudio de caso de manejo de fugas, esta vez de Corea del Sur, a manera de protocolos de una conferencia¹⁹⁴.

Son muchas las compañías que han publicado estudios de caso de detección de fugas como una forma de promover sus productos. Asimismo se puede consultar el protocolo de una conferencia de un estudio de caso que compara varios métodos para localizar fugas en tuberías subterráneas¹⁹⁵.

Soporte Posconstrucción (SPC) para Sistemas de Suministro de Agua de Gestión Comunitaria

Áreas Temáticas: Diversificación del suministro de agua, Preparación para fenómenos climáticos extremos; Resiliencia a la degradación de la calidad del agua.

Términos para el Glosario: Soporte Posconstrucción (SPC), Recuperación de costos, Tarifas, Modelo de gestión comunitaria impulsado por la comunidad

A. ¿En qué consiste la tecnología/práctica?

Cada vez es mayor y más abundante la evidencia que demuestra que el soporte posconstrucción (SPC) aumenta el éxito y la sostenibilidad de los sistemas de gestión comunitaria de agua. Esto es cierto inclusive para los sistemas que se implementan de acuerdo a todas las mejores prácticas actualmente reconocidas del “modelo de gestión comunitaria impulsado por la comunidad”^{197,198,199,200,201}.

A través de la historia, las intervenciones de suministro de agua en el área rural han fracasado en altas proporciones. Hacia la década de 1990 se desarrolló un consenso según el cual, los proyectos deberían: (1) ser impulsados por la demanda (de la comunidad); (2) ser manejados por un comité de aguas comunitario; (3) exigir la recuperación parcial de los costos; (4) exigir la recuperación total de los costos de operación y mantenimiento (OM); (5) asegurar la disponibilidad de repuestos que puedan ser adquiridos en mercados locales, e (6) incluir roles más importantes en la toma de decisiones para las mujeres. La aplicación del “modelo de gestión comunitaria impulsado por la comunidad” en los proyectos rurales de agua, ha generado mejoras sustanciales en el éxito y la sostenibilidad de los suministros de agua en el área rural^{196,201,202,203}. Este éxito ha llevado a muchos a la conclusión incorrecta de que, si se siguen las mejores prácticas durante la implementación, el SPC sería innecesario^{197,198,199,200,201}.

Generalmente el SPC se lleva a cabo a través de programas de gobierno, municipalidades, donantes multilaterales y varias ONG. Entre las diversas formas de SPC tenemos, a modo de ejemplo:

- Capacitación técnica para los operadores de sistemas de agua
- Soporte técnico y de ingeniería, incluida la provisión de manuales técnicos
- Asistencia financiera y contable (por ejemplo, establecimiento de tarifas)
- Ayuda en la resolución de conflictos (como pago de cuentas o fuentes de agua)
- Ayuda en mantenimiento, reparaciones y búsqueda de repuestos
- Ayuda en la búsqueda de financiamiento externo para OM, ampliaciones o reparaciones
- Ayuda en la evaluación de la suficiencia de suministros para ampliaciones o en casos de sequía
- Visitas a hogares para discutir el uso del sistema de agua, etc¹⁹⁷.

El SPC puede categorizarse en forma amplia como impulsado por la demanda (solicitado) o por la oferta (no solicitado). Aunque los datos son limitados y han surgido recientemente, existen algunas evidencias de que el éxito de estos programas puede depender de si la decisión de proceder con el SPC es una iniciativa de la comunidad o no¹⁹⁷.

Los hallazgos preliminares indican que los SPC no solicitados de gran envergadura o los programas que ofrecen reparaciones y asistencia técnica gratuita, no conducen a una mejor sustentabilidad del sistema o satisfacción del usuario¹⁹⁷. Esto es consistente con el pensamiento que subyace al “modelo de gestión comunitaria impulsado por la comunidad”, que indica que el promover que las comunidades tomen total responsabilidad de sus sistemas dará lugar a un mejor desempeño. Sin embargo, algunas actividades no solicitadas que ayudan a las comunidades a renovar o desarrollar sus propias capacidades muestran resultados promisorios en la mejora de la operación del sistema y la satisfacción del usuario. Entre estas actividades se pueden citar las siguientes:

- La capacitación financiera no técnica y gerencial para los comités u operadores del sistema.
- Las visitas de soporte no técnico para ayudar a los comités de agua con las funciones administrativas y la resolución de conflictos¹⁹⁷.

Asimismo se ha reportado que los comités de agua que han recibido SPC no técnico tienen un enfoque de “pequeña empresa”, que prioriza la sostenibilidad económica y cobra tarifas con más frecuencia²⁰². Según se ha observado, los informes sobre la eficacia de los programas de capacitación técnica para operadores señalan que estos son exitosos en algunos casos, pero no en otros^{197,198,204,205}. No existen informes sobre el estudio sistemático de los programas solicitados de SPC debido a dificultades experimentales, como el sesgo de la autoselección.

Aunque existen pocos estudios académicos sistemáticos es amplia la evidencia práctica que indica que el SPC puede mejorar el desempeño y la sostenibilidad del sistema. Más adelante se ofrecen referencias sobre estudios de caso y lecciones aprendidas de los programas de SPC.

B. ¿Cómo contribuye la tecnología/práctica a la adaptación al cambio climático?

El agua transportada por tuberías constituyó el principal suministro de agua potable para menos del 12% de los pobladores de las áreas rurales en los países en desarrollo durante la década de 1990. Para el 2006, el porcentaje se había elevado a 21% y se proyecta que este sea mayor a 28% hacia el año 2020^{206,207}. El aumento en la resiliencia del creciente número de sistemas de suministro de agua corriente de gestión comunitaria es uno de los mayores desafíos de la adaptación al cambio climático.

Los sistemas de suministros de agua de gestión comunitaria generalmente son más vulnerables a los fenómenos climáticos extremos y tienen menos capacidad para evaluar la sostenibilidad de los recursos de agua que los sistemas de propiedad de empresas de servicios públicos. El SPC puede empoderar a los comités y operadores de sistemas de agua comunitarios para acceder a los recursos financieros, administrativos y técnicos que les permiten a las empresas de suministro público grandes prepararse y adaptarse a condiciones adversas relacionadas con las lluvias.

C. ¿Cuáles son las contribuciones de la tecnología/práctica al desarrollo?

El acceso a un suministro de agua seguro y sostenible, particularmente en la vivienda, es crucial para el desarrollo. Sin embargo, los sistemas de gestión comunitaria frecuentemente tienen problemas para lograr este tipo de suministro; en este sentido, el SPC podría contribuir a mejorar el desempeño y la sustentabilidad.

D. ¿Cuáles son los requerimientos de conocimiento/desarrollo de capacidades?

Es importante que el personal del programa de SPC cuente con una comprensión amplia y holística de los aspectos que impactan el éxito y sostenibilidad de los suministros de agua rural. Históricamente, muchos profesionales se han apegado a soluciones dentro de su área específica de experiencia (por ejemplo, los ingenieros identificaban las deficiencias en la tecnología o la construcción; los economistas se fijaban en las malas estructuras tarifarias, etc.) y cerraban los ojos al problema real¹⁹⁷. El alcance del desarrollo de capacidades variará considerablemente pero es probable que se necesiten programas y manuales, y hasta posiblemente certificaciones, si se va a implementar el SPC a gran escala.

E. ¿Cuáles son los requerimientos institucionales/ organizativos?

Durante un estudio realizado durante varios años en América Latina con financiamiento de USAID, se identificaron cuatro modelos institucionales básicos de SPC; las definiciones de todos ellos se han tomado

directamente de la fuente²⁰¹, la cual incluye una amplia discusión, estudios de caso y lecciones aprendidas de estos modelos e híbridos que combinan aspectos de más de uno de ellos:

- Modelo centralizado: Cuando los servicios de soporte son prestados por una institución gubernamental o ministerio que opera desde un punto centralizado, interactuando directamente con las estructuras de gestión comunitaria de las áreas rurales.
- Modelo descentralizado: Bajo el cual los servicios de soporte son provistos por una entidad gubernamental central que opera, con cierto grado de autonomía, a través de oficinas a nivel regional o departamental.
- Modelo de Devolución: En el que la autoridad y la responsabilidad por la provisión de los servicios de soporte es transferido de una entidad gubernamental centralizada a un nivel descentralizado de gobierno, usualmente a nivel municipal.
- Modelo de Delegación: Donde la responsabilidad de la provisión de los servicios de soporte se delegan de una entidad gubernamental central o local a una tercera parte, la cual podría ser una ONG, una empresa privada o una asociación de usuarios²⁰¹.

Independientemente del modelo, es importante definir los roles y responsabilidades entre el personal del SPC y quizás sea más crucial, o inclusive imperativo, que los comités de agua comunitarios entiendan claramente qué tareas de la operación, el mantenimiento y la administración son responsabilidad de la comunidad. En este contexto, se deberían registrar y difundir los respectivos roles de todos los actores.

F. ¿Cuáles son los requerimientos de costos y financieros?

Es fundamental que los programas de SPC tengan una fuente confiable de financiamiento, que prevean los costos por salarios, gastos administrativos generales, costos de capacitación y presupuesto de transporte esencial para que el personal de campo viaje a las comunidades rurales. El proyecto financiado por USAID anteriormente nombrado cita varios modelos y estudios de caso sobre financiamiento²⁰¹.

G. ¿Cuáles son las barreras y las oportunidades para la implementación?

La efectividad del SPC está bien documentada pero no todos los actores están conscientes de su importancia. La incorporación del SPC en las mejores prácticas del sector hídrico rural, tal como se ha logrado con el modelo impulsado por la demanda de gestión comunitaria, requiere la educación de los actores clave en este tema.

Algunas veces, el SPC es visto como un desperdicio de recursos por organizaciones (por ejemplo, ONG, donantes) que prefieren proyectos con una medición más clara del éxito de los resultados (por decir, 3000 personas a las que se proveyó agua limpia), más fácilmente cuantificables y que muestren un rápido retorno sobre la inversión. Del mismo modo, los políticos prefieren inaugurar proyectos nuevos con ceremonias donde se cortan cintas, mientras que los beneficios del SPC se dan principalmente a mediano y largo plazo y, a menudo, es difícil cuantificarlos.

H. Ejemplos y estudios de caso de diferentes regiones

Durante un estudio de varios años llevado a cabo con financiamiento de USAID se obtuvieron relatos exhaustivos y profundos de muchos programas de SPC en Latinoamérica, los cuales se encuentran disponibles gratuitamente en línea y tocan varias facetas del SPC, con particular énfasis en aspectos

institucionales²⁰¹. También se dispone de un subgrupo de programas de estudios de caso ampliados de estos programas²⁰⁸.

Uno de los ejemplos se refiere al modelo utilizado en Nicaragua desde 1997 para proporcionar respaldo a sistemas rurales de suministro de agua de gestión comunitaria, que se suma a la existente estructura de comités de agua apoyada por los representantes regionales de la empresa nacional de agua y saneamiento (ENACAL), al añadir un promotor de OM que trabaja a nivel local. El promotor municipal es un empleado del gobierno local pero trabaja bajo la supervisión técnica del representante de ENACAL. En general, el programa fue un éxito y, tras dos años, el 95% de los sistemas estaban operando a un nivel aceptable o por encima del promedio²⁰⁸.

Los estudios de caso de los proyectos *WaterAid* en cuatro países (Etiopía, India, Ghana y Tanzania) incluyen análisis de impacto de soporte posconstrucción²⁰⁰.

Existen documentos académicos sobre lecciones aprendidas del estudio del SPC a sistemas de Ghana, Perú y Bolivia^{197,199}. También existen hallazgos de estos mismos proyectos en forma gratuita en la red, en forma de diapositivas²⁰², y un extenso documento publicado por el Banco Mundial¹⁹⁸.

Finalmente, se puede encontrar un estudio sobre la capacitación en SPC en comunidades de la Primeras Naciones de Canadá como uno de los capítulos de un libro²⁰⁴.

Colecta de Agua Pluvial de la Superficie del Suelo – Pequeños Reservorios y Microcaptaciones

Áreas Temáticas: Diversificación del suministro de agua, Recarga de agua, control y captación de aguas de lluvia

Términos para el Glosario: Microcaptación, Pequeño reservorio, Escorrentía, Evapotranspiración, Transpiración, Diques, Tanque/Reservorio comunitario, Cuenca, Área de captación

A. ¿En qué consiste la tecnología/práctica?

La mayor parte de la precipitación que cae en los asentamientos humanos se pierde en la atmósfera a través de la evapotranspiración (evaporación más transpiración del agua tomada por las plantas) o llega a los ríos que están fuera de los asentamientos antes de poder ser usada. En algunas regiones con abundancia de agua, particularmente en las denominadas ricas y con infraestructura de agua centralizada, estas pérdidas pueden no ser una preocupación importante, pero en las áreas con deficiencia hídrica, la infraestructura de captación a pequeña escala puede contribuir considerablemente al volumen de agua dulce disponible para uso humano. Esto es especialmente cierto en las regiones áridas y semiáridas, donde la poca lluvia recibida generalmente es muy intensa y, a menudo, estacional. Debido a esto, la escorrentía y los caudales pueden ser abundantes por breves períodos e inexistentes durante el resto del año^{209,210}.

Este capítulo trata sobre la captación, almacenamiento y uso de la precipitación que llega a la superficie. La captación directa en los techos es materia del capítulo que lleva por título “Cosecha de Agua Pluvial en Techos”. Las dos grandes categorías de este capítulo son:

- Captación de agua pluvial de la superficie del suelo utilizando “microcaptaciones” para desviar o desacelerar la escorrentía de manera que se la pueda almacenar antes de que se evapore o ingrese a cursos de agua.
- Captación de caudales de un río, arroyo o curso de agua natural (algunas veces llamada cosecha de agua de caudales). Generalmente esta técnica incluye una estructura hecha de tierra u otro material para embalsar el curso de agua y formar “pequeños reservorios”.

Comúnmente, las microcaptaciones se usan para “almacenar” agua como medio para la agricultura, mientras que los pequeños reservorios se usan, en general, con precipitación estacional para asegurar la disponibilidad adecuada de agua durante la estación seca.

Esta amplia categorización puede proporcionar un marco básico para definir qué estrategias pueden ser apropiadas en un escenario dado. Existen otras publicaciones donde puede encontrarse una discusión detallada de las definiciones técnicas de estas dos categorías^{209,211} pero las distinciones técnicas no son fundamentales para la comprensión y se encuentran fuera del alcance de esta guía.

La infraestructura de colecta y almacenamiento de agua puede ser natural o artificial y tener muchas formas, entre ellas:

- Tanques bajo superficie (cisternas) y excavaciones (ya sea con revestimiento a prueba de agua o sin él), hacia los que se direcciona el agua de lluvia desde la superficie. Comúnmente en estos casos se trata de volúmenes pequeños (unos cuantos metros cúbicos o menos) y en general son usados por una vivienda o institución, como por ejemplo, una escuela o institución de salud.
- Pequeños reservorios con diques o taludes de tierra que contienen la escorrentía (conocidos como “atajados” en algunos lugares) o el caudal (fosas de almacenaje o “piraguas” en el norte de Ghana o “reservorios comunitarios” en el sur de Asia). Lo típico es construir los diques o terraplenes de tierra con suelo excavado del mismo reservorio para aumentar su capacidad de almacenamiento. Un aliviadero o vertedero controla el rebalse cuando se excede la capacidad de almacenamiento. Los estudios sobre pequeños reservorios en Ghana y Sri Lanka revelaron una amplia variedad de áreas superficiales y volúmenes: las superficies medianas para Ghana y Sri Lanka fueron 5 ha y 12 ha, respectivamente. La media de volumen de almacenamiento en Ghana fue de aproximadamente 50.000 m³(Ver 210, 211).

- Los acuíferos subterráneos pueden recargarse dirigiendo el agua en dirección descendente hacia un pozo sin revestimiento. La recarga de los acuíferos también constituye un beneficio adicional de los reservorios sin revestimiento; el agua almacenada infiltra los suelos permeables durante el almacenamiento y eventualmente llega a la napa freática subterránea. En la sección de Referencias se encuentran ejemplos exitosos de recarga de aguas subterráneas a través de la captación de aguas pluviales^{214,215}.
- Utilizado como método de humidificación para agricultura. Muchos métodos de control de escorrentía para riego incorporan o la inundación o la ampliación del tiempo de contacto con el suelo para incrementar la humedad del mantillo. A menudo, los métodos tradicionales fueron desarrollados en respuesta a las condiciones locales y han sido practicados durante siglos. Entre los ejemplos de estas prácticas tenemos variaciones de la agricultura en curvas de nivel, que se definen en forma general como la roturación o la excavación de zanjas perpendiculares a la dirección del flujo de la escorrentía; lo cual desacelera la velocidad con la que precipitación toca el suelo, reduce la erosión e incrementa la infiltración. En las Referencias se detallan otros numerosos ejemplos^{209, 211}.

Las presas subsuperficiales son otra forma de infraestructura de captación/ almacenamiento que puede utilizarse para enfrentar estos mismos problemas, aunque no encajan directamente dentro del alcance de este capítulo y se incluyen solo a manera de comparación y para concientizar al lector sobre otra opción técnica. Desde este punto de vista, estas presas no captan la lluvia de la superficie del suelo, pero sirven para el mismo fin que las tecnologías anteriormente mencionadas, que se discuten brevemente en este documento. Típicamente, las presas subsuperficiales se usan en zonas áridas y semiáridas donde los lechos de los ríos permanecen secos durante una parte del año. Consisten en una barrera de baja permeabilidad (por ejemplo, concreto) insertada en el suelo a través del lecho del río para bloquear la dirección del caudal. Aunque un lecho estacional puede estar seco en la superficie, el flujo subsuperficial frecuentemente se mantiene durante todo el año. La perforación de un pozo aguas arriba de la presa subsuperficial permite el acceso al caudal de agua de régimen anual. Las presas subsuperficiales no pueden aplicarse en todos los sitios y solo funcionan cuando la corriente sobreyace a una capa impermeable somera tal como roca madre o arcilla. Sin embargo, tienen las siguientes ventajas sobre las presas convencionales: menos pérdida por evaporación, superior calidad de agua y menor reproducción de vectores/parásitos^{216,217}.

Por lo general, las aguas subterráneas son superiores en términos de calidad bacteriológica y estética a las aguas superficiales, por lo que la recarga de aguas subterráneas a menudo sirve para reabastecer acuíferos que proveen agua potable de alta calidad. El agua pluvial captada de la superficie del suelo por lo común se usa para fines no potables como el riego, uso doméstico general y abrevado de ganado, pero en algunas regiones con precipitación estacional, los reservorios pequeños se usan usualmente para suministro de agua potable durante la estación seca, a pesar la alta turbiedad y la deficiente calidad bacteriológica del agua²¹⁸.

B. ¿Cómo contribuye la tecnología/práctica a la adaptación al cambio climático?

Se espera que el cambio climático aumente la variabilidad e intensidad de la precipitación pluvial y esto resulta de particular importancia en las zonas cercanas al ecuador, donde se ubica la mayoría de países en desarrollo^{219,220}. Es probable que la drástica disminución de las aguas subterráneas como resultado de la excesiva extracción, cambio en el uso de suelos y crecimiento demográfico se vean exacerbados por estos cambiantes patrones en la precipitación.

La captación y almacenamiento de agua pluvial pueden brindar un suministro de agua conveniente y confiable durante los períodos estacionales secos y las épocas de sequía. Por otro lado, la práctica extendida de almacenamiento de aguas pluviales puede reducir significativamente la erosión del suelo y el influjo de inundaciones hacia ríos importantes^{212,213}. La colecta de agua de lluvia también puede contribuir en gran forma a la estabilización de los mantos de aguas subterránea en declive^{214,215}.

C. ¿Cuáles son las contribuciones de la tecnología/práctica al desarrollo?

La falta de un adecuado suministro de agua durante períodos estacionales secos puede paralizar el desarrollo económico y obstruir el bienestar y buenas condiciones de salud en seres humanos²²¹, mientras que el acceso a un apropiado suministro de agua pluvial almacenada puede reducir el tiempo de traslado a fuentes de agua alejadas, aumentar la productividad agrícola y disminuir el agotamiento de los recursos hídricos subterráneos. Se ha demostrado que la mayor disponibilidad de agua para riego durante estaciones secas e, inclusive, durante eventos extremos cortos de sequedad genera un aumento de la producción agrícola^{217,222,228}.

D. ¿Cuáles son los requerimientos de conocimiento/desarrollo de capacidades?

Los proyectos de colecta de agua pluvial pueden tener impactos hidrológicos adversos sobre las comunidades ubicadas corriente abajo si se almacena o se desvía demasiada agua. Los gobiernos locales deben tener la capacidad técnica para evaluar estos impactos si tienen que evitar mayores externalidades y resolver conflictos. El conocimiento de los sistemas de información geográfica (SIG) y del software de imágenes de teledetección remota/ satelitales, así como de otras herramientas es necesario para determinar la capacidad de almacenamiento de los pequeños reservorios²²⁴. Ver la sección E para la discusión sobre los requerimientos institucionales asociados con la resolución de conflictos y externalidades.

E. ¿Cuáles son los requerimientos institucionales/ organizativos?

Es necesario contar con las políticas, la legislación y la capacidad institucional para abordar los conflictos y externalidades que pueden derivarse de la colecta de agua de lluvia. Por ejemplo se han reportado conflictos entre agricultores a pequeña escala que compiten por volúmenes limitados de escorrentía en Kenia. Además, a medida que la infraestructura de almacenamiento crece, tiene el potencial de reducir los caudales e infringir impactos negativos sobre las comunidades situadas corriente abajo²²³.

Los proyectos de pequeños reservorios pueden fracasar si las comunidades no identifican la necesidad de almacenamiento de aguas pluviales y participan en la selección de la tecnología^{223,225,226}. Es probable que las estrategias de gestión de la infraestructura de almacenamiento y riego de propiedad comunitaria estén sujetas a los mismos determinantes que rigen el éxito de los sistemas de agua potable pequeños. El “modelo de gestión comunitaria impulsado por la comunidad” que ha funcionado para sistemas pequeños de suministro de agua potable puede funcionar también para estos sistemas²²⁷.

F. ¿Cuáles son los requerimientos de costos y financieros?

La implementación de programas de recolección de agua de lluvia a gran escala debería incluir un estudio sobre la actual capacidad del reservorio y su ubicación. Los métodos basados en satélite para rastrear

aguas superficiales, incluidos el radar y otros métodos que no se ven obstaculizados por la capa nubosa, pueden reducir los costos del estudio^{212,228,229}.

Es difícil encontrar datos específicos sobre los costos de construcción e implementación de los proyectos de recolección de aguas pluviales. Muchos son los factores, incluida la escala del proyecto, ubicación, etc. que afectarán los costos en gran forma. Existen informes sobre costos de los programas de recuperación y desarrollo de pequeños reservorios (conocidos como “reservorios comunitarios”) que cuentan con financiamiento externo en Tamil Nadu (India). Los reservorios comunitarios de ese programa eran relativamente grandes (40 ha o más) y el costo promedio para cada proyecto fue de casi \$50.000²²⁶.

G. ¿Cuáles son las barreras y las oportunidades para la implementación?

La mayor productividad agrícola, el potencial de suministro de agua para todo el año y el menor tiempo invertido en la recolección de agua ofrecen sólidos incentivos a los propietarios de tierras o comunidades que están considerando la colecta de agua de lluvia como una opción. Las mayores oportunidades para la recolección de agua pluvial a nivel de superficie deberían surgir cuando la precipitación es altamente variable o estacional, la agricultura se ve sujeta a grandes obstáculos durante épocas secas y los suministros de agua alternativos quedan distantes.

Entre las barreras se encuentran los posibles impactos hidrogeológicos negativos aguas abajo y la necesidad de una capacidad adecuada para evaluar dichos impactos (ver sección D). Sin embargo, los reportes indican que los impactos ambientales e hidrológicos de los pequeños reservorios son menores²³⁰. En casos en que la disponibilidad de agua es inadecuada, pero las preocupaciones ambientales, sociales o legales imposibilitan el desarrollo de reservorios grandes, puede encontrarse la oportunidad para desarrollar la capacidad de contar con pequeños reservorios.

Por otro lado, el almacenamiento superficial puede conducir a la reproducción de parásitos/vectores, floraciones algales y calidad del agua deficiente, particularmente en pequeños reservorios alimentados por escorrentía agrícola. A pesar de la baja calidad estética y bacteriológica de esas aguas, muchas veces se usan para beber cuando los otros puntos de agua se encuentran lejos o la adquisición de este elemento es caro²¹⁸.

La implementación de las tecnologías de tratamiento de agua doméstica puede afrontar este problema (ver acápite titulado Tratamiento y Almacenamiento Seguro de Agua Potable Doméstica en la presente guía).

H. Ejemplos y estudios de caso de diferentes regiones

El sitio web del Proyecto de Pequeñas Represas (*The Small Reservoirs Project*- <http://smallreservoirs.org/>) presenta numerosos recursos sobre el almacenamiento superficial de aguas pluviales en áreas rurales semiáridas (particularmente en Brasil, Zimbabue y África Occidental). La página *Publications* incluye vínculos a docenas de artículos, informes, tesis, presentaciones y afiches, a la mayoría de los cuales se puede acceder gratuitamente en línea.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha publicado extensas guías sobre esquemas de cosecha de agua pluvial y aguas de inundación para la agricultura. En la presente publicación también se incluye bibliografía sobre los principales recursos publicados antes de 1990²¹¹.

La recarga de aguas subterráneas usando aguas de lluvia recolectadas recientemente se ha vuelto una práctica más difundida en India y otros lugares. En la sección de Referencias se encuentran estudios de caso sobre la India^{214,215}.

El Banco Mundial ha publicado estudios de caso sobre presas subsuperficiales en Kenia y Brasil, los cuales cubren diversos aspectos de construcción, costos, problemas encontrados y beneficios económicos²¹⁷.

Cosecha de Agua Pluvial en Techos

Áreas Temáticas: Diversificación del suministro de agua, Recarga de aguas subterráneas, Resiliencia a la degradación de la calidad del agua, Control y captura de agua pluvial

Términos para el Glosario: Potable, No potable, Captación, Transporte, Primer enjuague, Sistemas duales

A. ¿En qué consiste la tecnología/práctica?

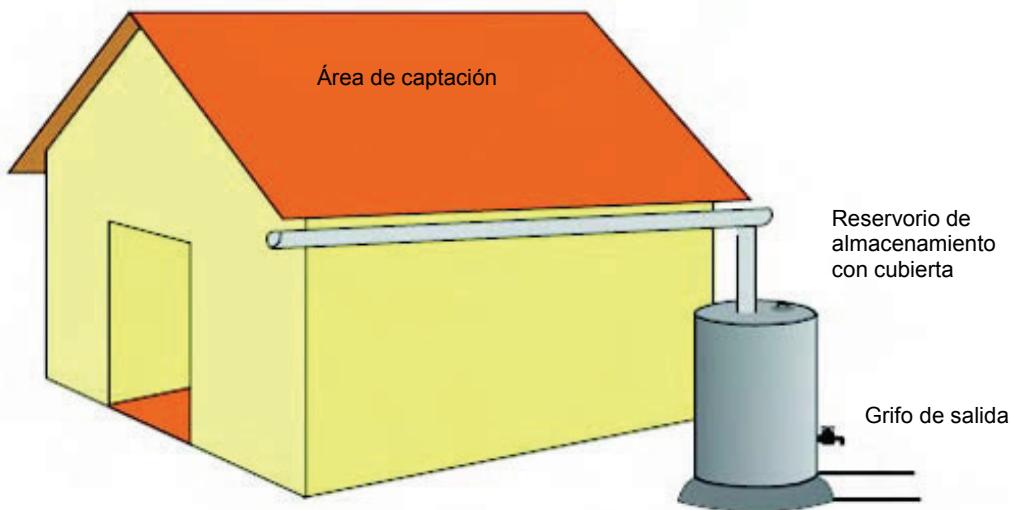
Si bien se ha practicado desde la antigüedad, la colecta de agua de lluvia a partir de sistemas de captación en techos, ésta es una técnica que se promueve cada vez más como una opción para proveer de agua a viviendas e instituciones²³². La mayor proporción de techos de material duro (por ejemplo, metal o tejas) y la disponibilidad de metales y plástico para su transporte han disminuido el costo de implementación de la cosecha de agua pluvial doméstica (CAP doméstica o RWH por sus siglas en inglés).

En la mayoría de casos de países en desarrollo, la CAP se usa para recolectar agua para usos potables u otros fines domésticos. En las regiones más ricas, con suministros de sistemas de agua corriente seguros, usualmente se recoge para usos no potables, como el riego de elementos paisajísticos (césped y jardines), lavado de inodoros y lavado de ropa. El rango de opciones de CAP doméstica que son relevantes en un escenario dado depende de la calidad, el costo y la sostenibilidad de otros suministros de agua residencial, patrones de precipitación, ingreso familiar y otros factores.

Esta sección de la guía se enfoca principalmente en la CAP en los techos de viviendas para agua potable y otros usos domésticos. La CAP para escuelas y otras instituciones sigue los mismos principios generales y, comúnmente, se beneficia de las economías de escala cuando abastece a grandes poblaciones. El exceso de aguas en los techos de instituciones también puede emplearse para cubrir suministros residenciales en algunos casos²³³. También se trata brevemente la CAP doméstica para usos exclusivamente no potables y se incluye una somera introducción a los sistemas de tuberías duales domésticas que utilizan agua pluvial cosechada.

En la Figura 10 se ilustra un sistema básico de CAP doméstica. Entre las características resaltantes de la CAP en techos están: (1) una superficie de captación donde se posa el agua de lluvia, (2) un sistema de conducción de canaletas y tuberías para transportar y dirigir el agua, y (3) recipientes para almacenar al agua para su uso posterior. La incorporación de protección a la calidad del agua añade uno o más elementos al sistema. La calidad del agua puede verse protegida añadiendo uno o más de los siguientes: filtración/ rejillas, desinfección química o sistema de “primer enjuague”. Este último descarta el volumen inicial de un evento de precipitación para proteger la calidad del agua. Se ha sugerido que la regla básica es que la contaminación equivale a la mitad de cada milímetro de lluvia descartado²³⁴. La incorporación del agua de lluvia recolectada en el sistema de tuberías de una vivienda u otro tipo de construcción aumenta en gran medida tanto los costos como el conocimiento requerido para este fin.

Figura 10: Características básicas de un sistema de CAP doméstica en techos



Fuente: Modificado de UN-HABITATⁱ

Antes de implementar un programa básico de CAP doméstica para uso potable se debe contestar tres preguntas en forma afirmativa. Estas han sido modificadas ligeramente de Thomas y Martinson (2007)²³⁵.

- ¿Los habitantes de las viviendas piensan que la provisión de agua actual es seriamente inadecuada en términos de calidad, limpieza, confiabilidad o conveniencia?
- ¿Se cuenta con capacidad existente para instalar sistemas específicos de CAP en el área o este podría generarse en un tiempo razonable?
- ¿Existe un área adecuada de techo de material duro por habitante? Esta decisión debería basarse en el uso planificado del agua de lluvia (por ejemplo, única fuente de agua durante todo el año, agua potable solo durante la estación húmeda), tamaño del tanque y precipitación promedio. Los parámetros específicos están disponibles en Thomas y Martinson (2007)²³⁵.

Si no se puede contestar “sí” a estas tres preguntas, quizás la CAP doméstica no sea adecuada.

B. ¿Cómo contribuye la tecnología/práctica a la adaptación al cambio climático?

La CAP doméstica contribuye a la adaptación al cambio climático a nivel familiar, principalmente a través de dos mecanismos: (1) diversificación del suministro de agua doméstica y (2) mayor resiliencia a la degradación de la calidad del agua. También puede disminuir la presión sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneos (por ejemplo, el reservorio o acuífero usado para el suministro de agua potable corriente) por medio de la reducción de la demanda doméstica, y ha sido empleada como un medio para recargar los acuíferos subterráneos²³⁶. Otro de los posibles beneficios de la CAP doméstica en techos es la mitigación de inundaciones a través de la captura de la escorrentía que cae en los techos durante las lluvias.

Dado que se proyecta un incremento en la intensidad y variabilidad en la precipitación como resultado del cambio climático, esto es de particular preocupación para las aguas cercanas a la línea del Ecuador,

donde se concentran los países en desarrollo; el almacenamiento del agua pluvial puede proporcionar seguridad a corto plazo contra períodos de baja precipitación y falla o degradación de otros suministros de agua^v.

La CAP doméstica es una práctica común en muchos países del mundo. En el año 2006, más de 60 millones de personas usaban la CAP como su principal fuente de agua potable y se estima que ese número aumentará a más de 75 millones para el año 2020²³⁷. Es probable que cientos de millones más recojan agua pluvial como una fuente complementaria para usos potables y no potables. La CAP puede ayudar a la adaptación al cambio climático inclusive en los países más desarrollados. El crecimiento económico en países de bajos ingresos conduce a mayor cobertura en agua transportada por tubería y uso de agua per cápita²³⁸. Si se dispone de un suministro de agua corriente confiable y seguro, la CAP para usos no potables puede contrarrestar parcialmente el incremento en el uso doméstico. En algunas partes de los Estados Unidos, la mitad de todos los usos residenciales e institucionales convergen en el riego para fines paisajísticos;²³⁹ en estos casos comúnmente se usan barriles simples donde se recoge la lluvia para regar los exteriores sin recargar el suministro de agua entubada. Un tercio del agua de uso residencial de Europa se gasta en los inodoros, y un 15%, en las lavadoras de ropa y platos²⁴⁰. En Alemania y otros lugares, el uso del agua pluvial para estos usos no potables se está haciendo cada vez más común.

C. ¿Cuáles son las contribuciones de la tecnología/práctica al desarrollo?

La incorporación de la CAP en las prácticas de agua doméstica en los países en desarrollo puede contribuir considerablemente al desarrollo ahorrando tiempo y dinero. El agua pluvial almacenada es una forma de suministro conveniente y barata cercana a la vivienda, lo que puede reducir enormemente el tiempo que se invierte en acarrear agua o hacer fila en los puntos de suministro²³⁵. Asimismo puede generar ahorros significativos a las familias que se ven forzadas a comprar agua embotellada o comercial. En muchos casos, la CAP doméstica puede reducir la exposición a los patógenos de transmisión por agua al brindar mejor calidad de agua potable y agua de alta calidad para otros fines domésticos, incluidos la higiene, el baño y el lavado.

La escasez de agua puede constituir un obstáculo para el desarrollo económico, la salud y el bienestar humano²⁴¹. Por lo tanto, en los países áridos y semiáridos, inclusive en los lugares que cuentan con suministros de agua potable entubada seguros y confiables, la CAP puede contribuir al desarrollo reduciendo la demanda por suministros de alta calidad y capturando agua que, de otra forma se evaporaría, aumentando así la disponibilidad de agua por cápita en forma efectiva. Esto puede llevar a un aumento de la sustentabilidad de los recursos hídricos y reducir los gastos públicos y privados asociados con la infraestructura de agua.

D. ¿Cuáles son los requerimientos de conocimiento/desarrollo de capacidades?

La CAP realizada en techos y llevada a recipientes de almacenamiento ha sido practicada continuamente en partes de África y Asia durante miles de años²⁴². En las sociedades en las que la CAP doméstica es una parte común de las prácticas de manejo de agua, esta puede llevarse a cabo en forma efectiva, con poca capacitación o desarrollo de capacidades y con cadenas de suministro local para recipientes de almacenamiento y otros componentes del sistema. La operación y el mantenimiento consisten fundamentalmente en limpieza simple y reparaciones básicas; sin embargo, quizás se necesite cierta capacitación para las familias, especialmente en lo relacionado con la protección de la calidad del agua (por ejemplo, métodos de primer enjuague, filtración) y presupuesto, para lograr mejores resultados.

Es probable que cuando el establecimiento de la CAP en un área no sea una práctica común se necesite un alto grado de desarrollo de capacidades. Quizás los aspectos más desafiantes sean generar suficiente demanda para una industria autosostenible y el establecimiento de cadenas de suministro, aunque la mayor parte del material de ferretería necesario para la CAP no es muy especializado. Los materiales aceptables para los sistemas de almacenamiento y transporte pueden encontrarse prácticamente en cualquier ciudad del mundo. En la Sección de Referencias se ofrece literatura de guía para implementar programas nuevos de CAP²³⁵.

A diferencia de los sistemas simples, la CAP para sistemas de tubería dual doméstica requiere plomeros profesionales, con la suficiente capacitación para instalar dichos sistemas. El desarrollo de capacidades para establecer los marcos regulatorios para sistemas duales se trata en la sección E.

E. ¿Cuáles son los requerimientos institucionales/ organizativos?

La CAP doméstica básica implica la colecta, manejo y uso por parte de las familias individuales y son pocos los requerimientos institucionales, si llega a existir alguno; pero los recipientes de almacenamiento usualmente presentan grandes economías de escala²³⁵. Por lo tanto, a menudo los grupos de familias pueden beneficiarse dirigiendo la lluvia a uno o más recipientes de almacenamiento compartidos más grandes.

En las regiones desarrolladas, la CAP para el riego de exteriores es controlada por familias individuales. Se puede encontrar guías para establecer y diseñar estos sistemas en la internet²⁴³.

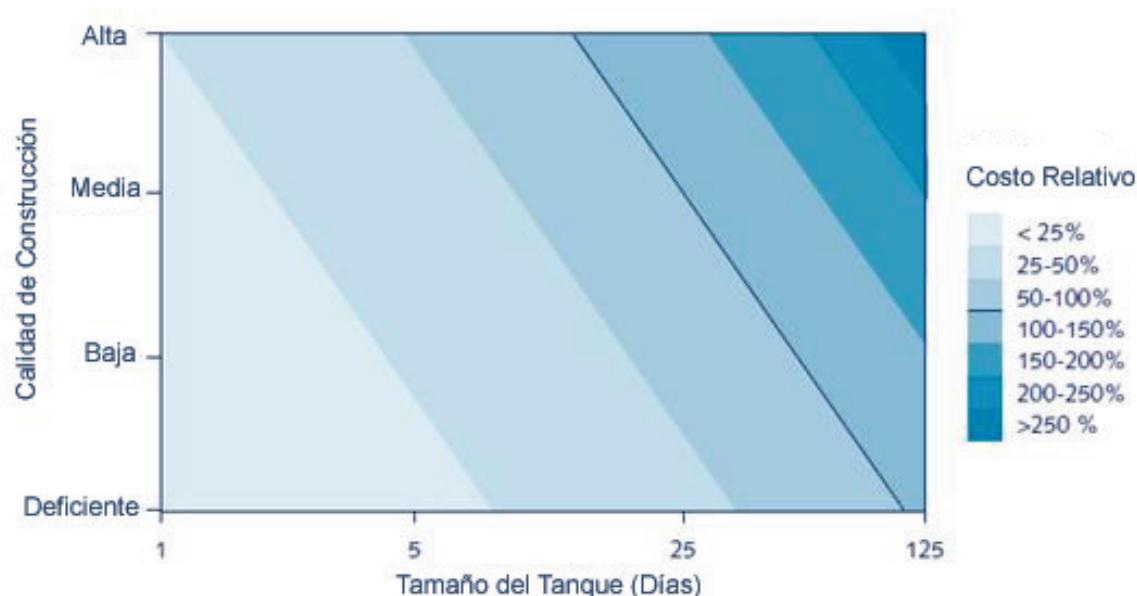
Si se va a promover la CAP para sistemas de tuberías duales, a menudo se deben modificar las normas de instalación de plomería y construcción. Muchos gobiernos nacionales y provinciales han establecido códigos y estándares para este fin y algunos de ellos se encuentran disponibles públicamente^{244,245}.

F. ¿Cuáles son los requerimientos de costos y financieros?

En las áreas rurales de baja densidad, la CAP puede ofrecer agua doméstica a un costo más bajo que otras opciones. Si una vivienda ya cuenta con un techo de material duro adecuado para ser utilizado como superficie de captación, el mayor gasto lo constituyen los recipientes de almacenamiento. El costo de estos últimos generalmente depende de la calidad de la construcción, el tamaño del tanque y otros factores. Un recipiente de almacenamiento de buena calidad y buen tamaño puede ser una inversión importante para las familias pobres. En el contexto del cambio climático, la existencia de niveles aun más extremos de precipitación podría requerir grandes volúmenes de almacenamiento para permitir la captura del volumen máximo durante los períodos intensos y cubrir las necesidades de agua de las familias durante periodos secos prolongados.

La relación entre costo, calidad de la construcción y capacidad de almacenamiento del tanque se ilustra en la Figura 11. En Thomas y Martinson (2007)²³⁵ se puede encontrar una extensa discusión sobre el diseño, la construcción y el costo del tanque.

Figura 11: Gráfico esquemático del costo relativo de un recipiente de almacenamiento en relación al tamaño (y días de almacenamiento) y calidad de construcción



Fuente: Thomas y Martinson (2007).^v

En los países desarrollados, la CAP para riego de exteriores generalmente implica una inversión menor. Por el contrario, los sistemas de tuberías duales que incorporan agua de lluvia pueden aumentar significativamente los costos de una casa nueva o hacer incluso más caros los costos de refacción de una casa antigua.

G. ¿Cuáles son las barreras y las oportunidades para la implementación?

Las mejores oportunidades para invertir en la CAP se dan cuando esta tiene como consecuencia ahorros en tiempo y costos, además de una mejor calidad del agua y ganancias en salud. Las condiciones más favorables para la CAP tienen lugar cuando las otras fuentes de agua están alejadas de la vivienda, o son de menor calidad, no confiables o caras. Cuando ya se cuenta con un techo “duro” (por ejemplo, de metal o tejas y no de material vegetal), los costos de capital son menores y la eficiencia y calidad del agua son superiores. Las barreras para la implementación incluyen un techo inadecuado o inapropiado para tal fin (como el de material vegetal), la falta de espacio para recipientes de almacenamiento adecuados y la contaminación extrema del aire²³⁵.

En los países desarrollados, la concientización social sobre la conservación del agua es probablemente el factor más importante para la creación de oportunidades de CAP. También los ahorros en costos y las ordenanzas locales contra el riego de exteriores usando agua corriente pueden aumentar la captación de agua de lluvia. Por otro lado, el subsidio del suministro de agua corriente deja sin efecto algunos los incentivos económicos de la CAP doméstica.

H. Ejemplos y estudios de caso de diferentes regiones

La Unidad de Tecnología del Desarrollo de la Universidad de Warwick (GB) tiene numerosos recursos en línea sobre CAP que incluyen publicaciones técnicas, discusiones cortas y estudios de caso correspondientes a proyectos en distintos lugares a nivel internacional²⁴⁶.

Entre estos documentos se encuentra una guía de 150 páginas que proporciona lineamientos detallados para quienes implementen la CAP doméstica que se encuentra disponible gratuitamente en la red y debería considerarse como el primer recurso para los que intentan implementar la CAP en países en desarrollo.

En el portal de estudios de caso sobre CAP de la Universidad de Warwick se puede acceder a diecisiete de estos documentos²⁴⁷, los cuales ofrecen descripciones detalladas del diseño, fabricación y construcción de diversos sistemas de CAP en Asia y África. Además, se incluye un estudio de caso más extenso sobre la implementación de la CAP doméstica en los barrios de Tegucigalpa, Honduras (estudio de caso 9).

Un informe de UN-HABITAT que se encuentra disponible en línea, sin costo, incluye 23 páginas de estudios de caso de proyectos de CAP en todo el mundo.

También se dispone de un estudio de caso en el área urbana de Bangalore (India), aunque este incluye captaciones de la superficie del suelo además de las cosechas en techo²⁴⁸.

Recuperación y Reutilización de Agua

Áreas Temáticas: Diversificación del suministro de agua, Recarga de aguas subterráneas, Resiliencia a la degradación de la calidad del agua

Términos para el Glosario: Gestión integrada de recursos hídricos (GIRH), Tecnología ambientalmente sólida, Recuperación de agua, Reutilización de agua, Agua reciclada, Aumento, Reutilización no intencional, Reutilización potable directa, Reutilización potable indirecta, Reutilización no potable

A. ¿En qué consiste la tecnología/práctica?

En muchos lugares del mundo, el crecimiento de las poblaciones y economías está causando que la demanda de agua dulce crezca a una tasa alarmante. Sin una estrategia sólida y sostenible para la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH), la demanda de estas áreas puede aumentar rápidamente y exceder el suministro disponible. Un enfoque integrado que está ganando aceptación es considerar a las aguas residuales municipales como un recurso vital para las aplicaciones apropiadas, incluidos los usos agrícolas o de otro tipo como riego, industrial y doméstico. Esta práctica se denomina *recuperación* y *reutilización de agua*, y constituye un ejemplo de Tecnología Ambientalmente Sólida porque protege el medio ambiente, genera menos contaminación, hace uso de los recursos en una forma más sostenible, permite el reciclaje de sus residuos y productos y maneja los desechos residuales en forma más aceptable que las tecnologías que sustituye²⁵⁰.

Los términos recuperación y reutilización a menudo se usan en varios contextos para referirse a diferentes cosas. Este capítulo adoptará definiciones conceptuales del libro de texto Reutilización del Agua: Problemas, Tecnologías y Aplicaciones (*Water Reuse: Issues, Technologies and Applications*). La recuperación del agua es el tratamiento o procesamiento de las aguas residuales para poder volver a utilizarlas con una confiabilidad de tratamiento definible y cubrir los criterios de calidad de agua pertinentes; la reutilización del agua es el uso de las aguas residuales tratadas (o agua recuperada) para fines beneficiosos. También es importante mencionar que, en el habla común, el término agua recuperada se usa en forma indistinta con el término culturalmente más aceptable “agua reciclada”²⁵¹.

Si bien este capítulo se centra en las aplicaciones de la reutilización de agua que afectan directamente los suministros de agua potable, es importante resaltar que el uso para fines agrícolas representa la mayor parte del consumo de agua en todo el mundo. Por tanto, el aumento del riego agrícola con agua recuperada podría generar los beneficios de mayor importancia para los recursos hídricos globales. De hecho, el agua recuperada se usa como complemento en el riego agrícola en casi todas las zonas áridas del mundo²⁵². La OMS publicó un grupo actualizado de lineamientos en el año 2006²⁵³ que estaban dirigidos a servir como marco para el desarrollo de estándares y normas nacionales e internacionales en el área de gestión de riesgos asociados al uso de aguas recuperadas en la agricultura. En casos en que se trabaje con enfoques para la reutilización del recurso para fines agrícolas, se debería consultar estas pautas.

Se ha identificado un gran número de enfoques sostenibles y seguros para cubrir la creciente demanda de agua con aguas residuales municipales²⁵¹, entre los cuales están:

- Sustituir el agua recuperada en aplicaciones que no requieren agua potable.
- Aumentar los recursos hídricos existentes y proporcionar una fuente adicional de suministro de agua para ayudar a cubrir las necesidades de agua tanto presentes como futuras.
- Proteger los ecosistemas acuáticos disminuyendo la desviación del agua dulce y reduciendo la cantidad de nutrientes y otros contaminantes tóxicos que ingresan en los cursos de agua.
- Posponer y reducir la necesidad de estructuras de control de agua.
- Cumplir con la normativa ambiental a través de un mejor manejo del consumo de agua y de las descargas de aguas residuales.

Los esquemas de tratamiento de aguas residuales incorporan varios niveles de tratamiento físico, biológico y químico para asegurar que el agua descargada al ambiente no constituya un riesgo significativo de impacto adverso a la salud o el medio ambiente. Las aguas residuales tratadas generalmente se descargan

en aguas superficiales que, a menudo, son usadas como fuente de agua para una empresa de servicio de suministro público aguas abajo, de modo que muchos sistemas de agua reutilizan aguas residuales sin saberlo. Aunque dicho uso no intencional (también denominado “no planificado”, “incidental” o “natural”) tiene lugar con frecuencia, rara vez se reconoce como tal²⁵². El llamar la atención sobre la reutilización no intencional podría disminuir la resistencia pública a la reutilización de aguas residuales (ver sección G).

Los enfoques de recuperación y reutilización de agua utilizan las mismas tecnologías de tratamiento que los modelos convencionales para aguas residuales, como los clarificadores secundarios, diques de filtración de diversos diseños, membranas y cámaras de desinfección. Existen lecturas adicionales sobre la aplicabilidad de tales tecnologías para la recuperación y reutilización de agua²⁵¹. Aunque es probable que todos y cada uno de los esquemas de tratamiento de recuperación y reutilización de agua requieran algún grado de ajuste a las circunstancias, se ha logrado un enorme avance en el trabajo para definir las aplicaciones apropiadas para el agua que ha sido tratada por procesos primarios (como la sedimentación), secundarios (tales como la oxidación biológica y la desinfección) y terciarios (por ejemplo, la coagulación química, la filtración y la desinfección) de tratamiento de aguas residuales convencionales. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA)²⁵² ha desarrollado el grupo de pautas más amplio que recomienda procesos de tratamiento para usos específicos, límites de calidad del agua recuperada, frecuencias de monitoreo y otros controles para diversas aplicaciones de reutilización del agua. Estas pautas son un recurso valioso para los responsables de la administración de los recursos hídricos que planean programas de recuperación y reutilización de agua. En general, los usos que corresponden a mayores niveles de exposición humana requieren agua que haya recibido mayores niveles de tratamiento. Aunque no en forma exhaustiva, el Cuadro 4 detalla cierto número de usos sugeridos por la US EPA. El informe del PNUMA sobre reutilización de agua y aguas residuales²⁵⁰ y el texto Reutilizar el agua: temas, tecnologías y aplicaciones (*Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*)²⁵¹ también contienen gran cantidad de información sobre las consideraciones de tratamiento para los usos adecuados del agua recuperada.

Rara vez se recomienda la reutilización potable directa, independientemente del nivel de tratamiento que el agua recuperada haya recibido. Existen dos razones técnicas para esto: (1) aun cuando es técnicamente factible retirar todos los contaminantes de las aguas residuales, pueden estar presentes ciertos contaminantes desconocidos, y (2) en el caso de una falla no detectada en el proceso de tratamiento, pueden presentarse importantes riesgos para la salud. Estos dos problemas siguen constituyendo una potencial amenaza a la salud, suficiente como para hacer inviable la reutilización del agua potable directa en la mayoría de los contextos. Sin embargo, en casi todos los casos, la principal razón para no intentar la reutilización directa es la oposición pública (ver sección G). De hecho, la planta Windhoek de Namibia es el único caso en que los suministros de agua potable han aumentado directamente por acción del agua recuperada a largo plazo²⁵¹.

Tradicionalmente, ha sido poco común aumentar el nivel de los reservorios con agua recuperada; sin embargo, esta práctica, conocida como reutilización potable indirecta, ha crecido en popularidad en la última década y ha sido implementada exitosamente en gran número de casos en todo el mundo. Para la reutilización potable, los requerimientos de tratamiento generalmente van más allá de las medidas de tratamiento convencional terciario que aparecen en el Cuadro 4. Por ejemplo, la planta de reutilización potable directa de Namibia y las de reutilización potable indirecta en Singapur (*NEWater*) y en el Condado de Orange, California (*Water Factory 21*) incorporan todas tecnologías avanzadas de tratamiento de agua potable en los esquemas de recuperación de agua, tales como la flotación de aire disuelto, filtración por membranas, ósmosis inversa e irradiación UV²⁵¹.

Es creencia general que la reutilización no potable puede conservar los recursos hídricos en el mismo grado que la reutilización potable y al mismo tiempo evita la mayoría de riesgos de salud pública²⁵⁵.

Dado que los esquemas de tratamiento de aguas residuales urbanas y redes de tuberías de alcantarillado del mundo están, en su mayoría, centralizados, es posible que la integración de los enfoques de recuperación y reutilización requiera la rehabilitación de infraestructura o construcción de nuevas instalaciones. Este aspecto de la recuperación y reutilización de agua se discute con mayor detalle en la sección G de este capítulo.

En la literatura asociada con este tema se puede encontrar vasta información sobre la recuperación y la reutilización de agua. En un intento por reunir y analizar esta información se han desarrollado una gran cantidad de textos^{251,254}, lineamientos^{250,252} y revisiones globales^{255,256}. Los administradores de recursos hídricos deberían consultar estas fuentes en búsqueda de guía sobre la normativa y lineamientos para la reutilización de agua, riesgos de salud pública, tecnologías y sistemas de tratamiento apropiados para la reutilización de agua, aplicaciones para las aguas recuperadas y medidas adecuadas para la planificación e implementación de los enfoques de reutilización de agua.

Cuadro 4: Tratamiento y Usos Sugeridos para la Recuperación de Agua

| Nivel de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales ^a | | | |
|---|-------------------------------------|---|---|
| | Primario (Sedimentación) | Secundario (Oxidación Biológica, Desinfección) | Terciario (Avanzado (Coagulación Química, Filtración, Desinfección) |
| Usos Sugeridos^b | No se recomiendan usos a este nivel | Riego superficial de huertas y viñedos | Riego de exteriores y campos de golf |
| | | Riego de cultivos no comestibles | Lavado de inodoros |
| | | Embalses restringidos para jardines | Lavado de vehículos |
| | | Recarga subterránea de acuíferos no potables ^c | Riego de cultivos alimenticios |
| | | Aumento de niveles de humedales, hábitats de fauna silvestre, corrientes ^c | Estanques recreacionales para usos no restringidos |
| | | Procesos de enfriamiento industrial ^c | Reutilización potable indirecta ^{c,d} |

a El nivel de exposición humana aumenta con el incremento del nivel de tratamiento.

b Los usos sugeridos se basan en las Guías para Reutilización de Agua de la US EPA.

c El nivel recomendado de tratamiento es específico para el sitio.

d La reutilización potable indirecta incluye la recarga de agua subterránea de los acuíferos potables y el aumento de los reservorios de aguas superficiales.

Fuente: Adaptado de US EPA Water Reuse Guidelines²⁵²

B. ¿Cómo contribuye la tecnología/práctica a la adaptación al cambio climático?

Entre una diversidad de proyecciones efectuadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, se anticipa que el cambio climático conducirá a mayores períodos de sequía, menor almacenamiento de agua fresca y elevación del nivel del mar²⁵⁷. Dichos cambios tienen impactos drásticos

tanto en la cantidad como en la calidad de los recursos de agua a nivel internacional. Sin embargo, los enfoques de recuperación y reutilización de agua pueden y han demostrado ser efectivos para adaptar la gestión de recursos hídricos frente a dichos factores de estrés. Lo que es más importante, la recuperación y reutilización de agua contribuyen a la adaptación al cambio climático al permitir que los recursos hídricos se diversifiquen y conserven. El empleo de agua recuperada para aplicaciones que no requieren agua potable puede resultar en una disminución sumamente importante del agotamiento de las fuentes de agua protegidas y prolongar su tiempo de vida. Además, el agua recuperada puede aplicarse a superficies de terreno permeables o inyectarse directamente en el suelo con el fin de recargar los acuíferos de aguas subterráneas y evitar la intrusión salina en las áreas costeras. Un ejemplo exitoso de este modelo es el Proyecto de Recarga de Agua en Suelos de Aducción de Motelbello, en el cual, durante 40 años, las aguas recicladas han venido aplicándose al río Hondo, esparciéndose en los suelos para recargar los acuíferos de aguas subterráneas potables en el Condado de Los Ángeles, en el sector sudcentral de California²⁵⁸.

C. ¿Cuáles son las contribuciones de la tecnología/práctica al desarrollo?

El agua y los nutrientes que pueden recuperarse de las aguas residuales son simplemente demasiado valiosos para desperdiciarlos en zonas donde existe carencia de estos recursos. Por ello, es muy común que los agricultores de los países en desarrollo complementen sus suministros de riego de cultivos con aguas residuales. De hecho, con la excepción de unos cuantos casos en que se han implementado aplicaciones tales como los sistemas de filtración natural para la recuperación de agua²⁵⁹, recuperación de aguas negras para usos industriales²⁶⁰ o reutilización potable directa, casi ninguna de las opciones de recuperación y reutilización de agua en los países en desarrollo se dedican al riego agrícola. Esta práctica no solo aumenta el volumen de agua disponible para cultivos y aprovecha los nutrientes presentes en las aguas residuales, sino que además contribuye a una mejor calidad de la vida humana al incrementar la disponibilidad de agua doméstica.

Es importante mencionar que la mayoría de las aguas residuales usadas en los países en desarrollo para riego agrícola pasan a ese fin sin tratamiento adecuado²⁵¹, lo que a menudo tiene como consecuencia altas tasas de enfermedades entéricas una vez que los cultivos regados con dichas aguas se consumen crudos o no hervidos, enfermedades que disminuyen la productividad económica y confinan al pueblo a la pobreza. Sin embargo, cuando la implementación es apropiada, la recuperación y reutilización de agua puede contribuir al desarrollo socioeconómico reduciendo la contaminación ambiental y la carga de morbilidad entérica, aumentando así la disponibilidad de agua doméstica y la producción agrícola. Las Guías para el Uso Seguro de Aguas Residuales, Excretas y Aguas Grises, Volumen 2: Uso de Aguas Residuales en la Agricultura de la OMS (*Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Grey Water, Volume 2: Wastewater Use in Agriculture*) fueron desarrolladas con el fin de proporcionar pautas para el uso seguro de las aguas recuperadas. De conformidad con estas guías, las opciones de tratamiento que pueden hacer posible el uso de seguro de las aguas residuales en lugares pobres en recursos sin tratamiento moderno centralizados de aguas residuales incluyen las pozas de estabilización de residuos, los reservorios de almacenamiento de aguas residuales y los humedales artificiales. La OMS ofrece lineamientos básicos sobre factores de diseño, tiempo de retención y condiciones climáticas para lograr la adecuada reducción de patógenos²⁵².

D. ¿Cuáles son los requerimientos de conocimiento/desarrollo de capacidades?

El PNUMA ya ha identificado cierto número de elementos clave de desarrollo de capacidades que son necesarios para asegurar la toma de decisiones y el desempeño administrativo en la planificación e

implementación de los programas de recuperación y reutilización de agua²⁶¹. Aunque se mencionan brevemente aquí, estos requisitos se describen en detalle en el Informe sobre Reutilización de Agua y Aguas Residuales del PNUMA (*Water and Wastewater Reuse Report*), junto con ejemplos aplicables²⁵⁰.

- Recursos Humanos: La implementación de los enfoques de recuperación y reutilización de agua requiere el fortalecimiento de la capacidad técnica y administrativa del personal que se encarga de los sistemas locales de agua y aguas residuales, para evaluar las limitaciones de las prácticas en vigencia, los potenciales beneficios y requerimientos de la reutilización de las aguas residuales y la promoción de su capacidad para implementar nuevos programas.
- Marco regulatorio y de políticas: Los marcos legales y de políticas deberán facilitar la creación de programas de recuperación y reutilización seguros y apropiados, o su congruencia con dichos instrumentos, para así asegurar la protección a la salud humana y el medio ambiente.
- Instituciones: Es posible que las instituciones nacionales, regionales y locales tengan que recibir apoyo en sus esfuerzos para identificar en qué forma pueden mejorar la efectividad de la regulación y administración de los programas de recuperación y reutilización de agua.
- Financiamiento: Se deberán ampliar las oportunidades y servicios de financiamiento para iniciativas de recuperación y reutilización de agua con el fin de facilitarla. También es posible que haya que mejorar el entendimiento y el acceso a la capacidad de las empresas de servicios públicos y los posibles usuarios en este marco.
- Participación: Dado que la percepción pública a menudo determina el éxito o fracaso de las iniciativas de la recuperación y reutilización de agua²⁶², la sociedad civil deberá ser educada con respecto a los beneficios de la recuperación y reutilización del agua, así como ser motivada a participar en el proceso de toma de decisiones para la implementación de dichos programas.

E. ¿Cuáles son los requerimientos institucionales/ organizativos?

Las instituciones que tienen mayores posibilidades de verse involucradas en proyectos de recuperación y reutilización de agua son las responsables de suministro de agua, gestión de aguas residuales, protección ambiental, salud pública y agricultura²⁵². Dada la complejidad inherente a una iniciativa que intenta coordinar tantas instituciones a nivel local, regional y nacional, puede ser necesario reorganizar las funciones administrativas en un grupo general que coordine los proyectos de recuperación y reutilización. Además, sería un claro conflicto de interés para el proveedor público de agua y el administrador de aguas residuales funcionar como una entidad reguladora que supervise y haga cumplir responsabilidades a sus socios en la reutilización de agua. Por lo tanto, puede ser necesario encargar dicho rol a una entidad independiente, como la encargada de la salud pública o el medio ambiente. Diversos países en desarrollo, tales como Túnez, Marruecos y Egipto han realizado tales cambios institucionales exitosamente con el fin de facilitar los programas de recuperación y reutilización de agua²⁵².

F. ¿Cuáles son los requerimientos de costos y financieros?

En general, las aplicaciones más viables desde el punto de vista económico para la reutilización del agua son las que reemplazan el agua potable por agua recuperada en el riego, restauración ambiental, limpieza, lavado de inodoros y usos industriales²⁵². Estas aplicaciones del agua recuperada contribuyen directamente a la conservación de los recursos hídricos y la reducción de la contaminación.

Los requerimientos financieros para la implementación de programas de recuperación y reutilización de agua varían considerablemente según el tipo de aplicación que se planea para el agua recuperada; por tanto, los administradores de servicios de recursos de agua deben tener un conocimiento cabal de los costos asociados con el desarrollo y gestión del sistema de suministro de agua en particular, el sistema de manejo de aguas residuales y el sistema de reutilización de agua propuesto para poder compararlos con los beneficios de los enfoques de gestión tradicionales para agua y aguas residuales. Se debería llevar a cabo un análisis económico para poder sopesar el costo de quedarse con el método tradicional y posiblemente desarrollar fuentes de agua adicionales, versus el costo de rehabilitación de la infraestructura existente y la construcción de infraestructura nueva para aplicaciones de reutilización. Dichos análisis también deberían considerar el número de beneficios financieros asociados con los enfoques de recuperación y reutilización de agua, tales como los menores costos de tratamiento y la recuperación de nutrientes valiosos de las aguas residuales^{IV}.

Para evaluar las condiciones en las cuales los programas de recuperación y reutilización de agua serían efectivos en términos de costo, se ha empleado un tipo particular de análisis económico conocido como análisis de costo de ciclo de vida (LCC – *Life cycle cost*)²⁵⁰ que ha sido descrito en extenso en un informe de la División de Tecnología, Industria y Economía de la PNUMA y toma en consideración el costo del programa de recuperación y reutilización sobre su vida total, incluidos el diseño, producción, instalación, operaciones, mantenimiento, reparación y disposición²⁶³. Uno de los ejemplos en que se ha usado el enfoque LCC para dicha aplicación es el de Tokio, Japón, donde las opciones de la reutilización de agua se compararon con una opción convencional de tratamiento de agua y aguas de alcantarillado en un número considerable de edificios de oficinas²⁶⁴. En el análisis se observó que si el volumen de agua era mayor a 100 m³ por día, la opción de reutilización de aguas residuales era más efectiva en términos de costo en comparación con la opción de tratamiento convencional de agua dulce y aguas negras. Análisis de este tipo pueden ser muy útiles en la determinación de la factibilidad económica de los programas de recuperación y reutilización de agua.

G. ¿Cuáles son las barreras y las oportunidades para la implementación?

Existen diversas barreras sociopolíticas que a menudo limitan la implementación exitosa de los programas de recuperación y reutilización de agua. En muchos casos, la oposición pública al uso del agua recuperada para cualquier aplicación a la que puedan estar expuestos los seres humanos (especialmente la potable) puede obstaculizar el progreso. La iniciativa *NEWater* de Singapur ofrece un claro ejemplo de la forma como las campañas de educación pública masiva y un marketing apropiado pueden utilizarse para influir positivamente en la opinión pública con respecto a la recuperación y reutilización del agua²⁶⁵. La falta de comunicación y colaboración entre los grupos interesados es otra de las barreras sociopolíticas importantes para los programas de recuperación y reutilización de agua. El primer paso en el diseño e implementación de las iniciativas de recuperación y reutilización de agua debería ser identificar estas brechas institucionales y forjar los vínculos necesarios entre las entidades correspondientes²⁵².

Las barreras técnicas también pueden ser un obstáculo para la implementación exitosa de los programas de recuperación y reutilización de agua. Las principales preocupaciones que se citan para el transporte de agua recuperada en los sistemas de distribución son la corrosión de tuberías, y bloqueo de estas y los filtros, así como la formación de una biopelícula en los tanques de reservorios debido a la reducción del cloro residual en el agua recuperada. Además, la implementación de los programas de recuperación y reutilización a menudo requieren la rehabilitación y la construcción sistemas de distribución duales nuevos, así como el desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento descentralizado y satélite de aguas residuales. Esto puede implicar costos prohibitivamente altos que, efectivamente, limiten

la implementación de dichos programas. En la literatura referente a este tema, se pueden encontrar discusiones más profundas sobre el sistema de distribución dual y el tratamiento descentralizado de aguas residuales^{251,252,255}. El tema de los contaminantes desconocidos continúa siendo una barrera para la implementación de la reutilización del agua con fines potables. El Directorio de Ciencia y Tecnología del Agua (*Water Science and Technology Board*) del Consejo de Investigación Nacional (*National Research Council*)^{266,267,268} informó que el consenso es general con respecto al hecho de que existe tecnología para hacer que casi toda agua residual pueda volverse segura para beber bajo los estándares actuales pero que la incertidumbre sobre los restos orgánicos y los contaminantes emergentes implica ciertos riesgos, lo que sugiere que la reutilización con fines potables debería ser una opción solo en el último de los casos²⁵².

Los enfoques de planificación y gestión de 65 proyectos internacionales sobre reutilización con fines no potables fueron documentados en un estudio realizado en 2001 por la Fundación de Investigación para el Agua y Medio Ambiente (*Water Environment Research Foundation, WEARF*)²⁶⁹. Este estudio, que cubrió proyectos de reutilización de agua para fines agrícolas, urbanos e industriales tanto en países desarrollados como en desarrollo, ubicados en zonas áridas y semiáridas en todo el mundo, mostró que el desempeño operativo, los acuerdos institucionales sólidos, los costos conservadores y los estimados de ventas, así como la buena comunicación durante el proyecto, constituyen la base para el éxito en este tipo de esfuerzos. Del mismo modo, el estudio mostró también que los obstáculos institucionales, la valoración inadecuada de los beneficios económicos y la falta de información pública pueden retrasar los proyectos de recuperación y reutilización de agua, o generar su fracaso²⁵².

H. Ejemplos y estudios de caso de diferentes regiones

La recuperación y reutilización de agua es una práctica que está creciendo de manera regular en regiones con deficiencia de agua, así como en países altamente poblados de regiones templadas en todo el mundo²⁵². Muchos de los proyectos que se han implementado, exitosamente o no, han sido documentados en estudios de caso.

El Cuadro E-2 del texto *Reutilizar el agua: Temas, Tecnologías y Aplicaciones* (*Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*)²⁵¹ incluye descripciones breves de estudios de caso de los siguientes países: Australia, Canadá, Israel, Japón, Kuwait, Singapur y España. A través de todo el texto se pueden encontrar extensos estudios de caso de los Estados Unidos. Asimismo, se describen brevemente estudios de caso de Namibia, Sudáfrica y Túnez sobre las siguientes Áreas Temáticas, con referencias para información más detallada.

- La planta de Recuperación de Agua de Goreangab en Namibia, ubicada en Windhoek, para reutilización potable directa.
- Sudáfrica: (1) recarga de aguas subterráneas con aguas residuales municipales para la toma y reutilización de agua, (2) uso de las aguas residuales industriales tratadas para recarga de las aguas subterráneas en zonas costeras como una barrera para la intrusión de aguas saladas, y (3) reutilización de agua en la industria papelera.
- Túnez: aguas residuales rehabilitadas del sistema municipal para riego agrícola y (2) riego de campos de golf con aguas rehabilitadas y durante la noche.

El capítulo 8, de la Guía para la Reutilización del Agua (*Water Reuse Guidelines*)²⁵² de la US EPA, lleva por título Reutilización de Agua fuera de los Estados Unidos (*Water Reuse outside the US*) y su sección 5 tiene 30 páginas de ejemplos a este respecto. A continuación nombramos algunos de los países con economías en desarrollo o emergentes que se han incluido en la sección 8.5 del libro nombrado, y en

relación a los cuales se han descrito las actividades de reutilización y las referencias correspondientes para mayores detalles.

- Argentina: recuperación a través de lagunas de estabilización para producir agua para el riego de cultivos y un “oasis”.
- Brasil: (1) recuperación de aguas residuales municipales y reservorios de control para usos industriales y para seleccionar usos urbanos (incluidos el lavado del inodoro, lavado de calles, riego de áreas verdes, etc.), y (2) recarga de acuíferos y otros usos en aeropuertos internacionales y sus alrededores.
- Chile: instalación de tratamiento de aguas residuales en los alrededores de ciudades importantes para mejorar la calidad de las aguas residuales que han sido utilizadas durante mucho tiempo para riego.
- China: (1) tratamiento y reutilización de aguas residuales generadas internamente en instalaciones industriales y plantas energéticas, y (2) recarga de acuíferos subterráneos con aguas residuales municipales que han recibido tratamiento secundario.
- Irán: multas a municipalidades que no realizan el tratamiento de las aguas residuales para asegurar su reutilización segura en la agricultura.
- Jordán: (1) riego agrícola con aguas residuales tratadas, y (2) planificación de la reutilización ampliada de agua como parte del manejo integrado de aguas para aliviar la presión sobre los limitados recursos de agua dulce.
- México: (1) reutilización en agricultura, cuerpos de agua recreacionales, riego en áreas urbanas, lavado de autos, etc., y (2) reutilización de las aguas residuales municipales en la industria.
- Marruecos: (1) reutilización en riego agrícola y canchas de golf; (2) programas de participación pública y sociedades institucionales, y (3) producción de bienes comerciales para la recuperación del costo parcial a través de la venta del agua rehabilitada a agricultores, cosecha y venta de cañas de humedales, incorporación de lodos secos en el compost y quema de gases de metano para bombas de energía.
- Omán: (1) recarga de aguas residuales para prevenir la intrusión de aguas saladas, y (2) planes para ampliar, al 100%, la reutilización de todas las aguas residuales tratadas.
- Yemen: (1) provisión de aguas rehabilitadas a agricultores para reducir el agotamiento de las aguas subterráneas por el uso agrícola y la sustracción de aguas, y (2) uso parcial de aguas residuales tratadas para enfriamiento industrial.
- Zimbabue: reutilización indirecta como agua potable por medio de la descarga, de aguas residuales tratadas, a ríos y lagos que se utilizan aguas abajo para suministro de agua.

El libro *Reutilización del Agua: Un Estudio Internacional sobre Prácticas, Problemas y Necesidades Actuales* (*Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*)²⁵⁴ es un texto de consulta que contiene una extensa colección de experiencias y estudios de casos internacionales. Entre los países cuyos programas de recuperación y reutilización del agua se describen en detalle en la sección 4, Estudios de Caso, están Pakistán, México, Namibia, Camerún, Nepal, Vietnam y muchas otras nacionales del Norte de África y Cercano Oriente.

Se debería consultar los recursos a los que se hace referencia ya que ofrecen tanto conocimientos generales como experiencias ganadas de los proyectos de recuperación y reutilización de agua que han sido implementados alrededor del mundo.

Planes de Salubridad del Agua (PSA)

Áreas Temáticas: Preparación para eventos climáticos extremos; Resiliencia a la degradación de la calidad del agua

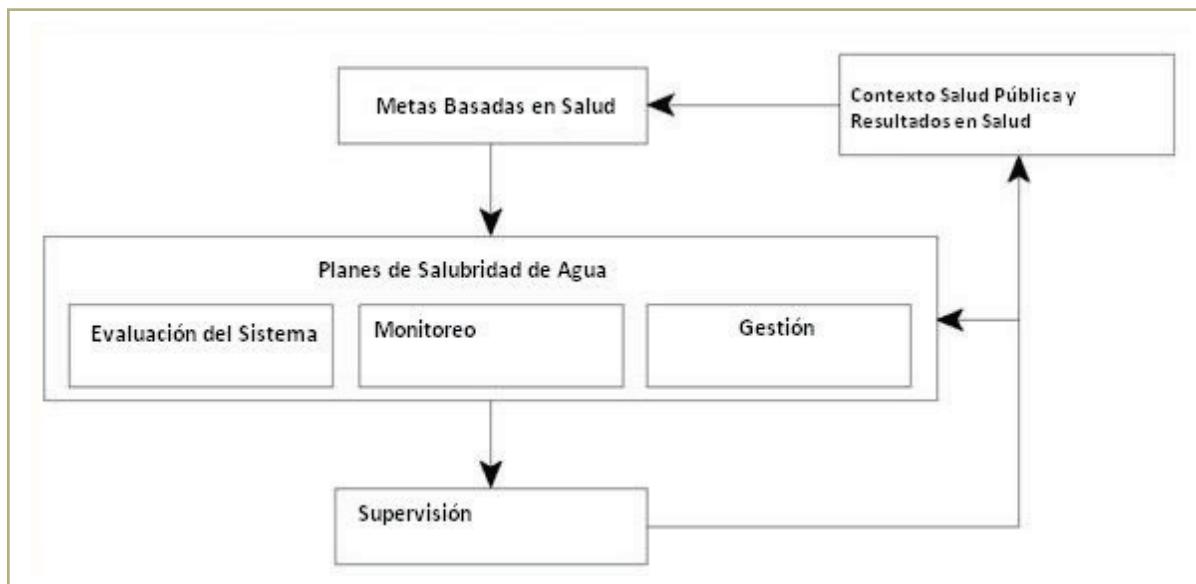
Términos del glosario: Prueba del producto final, Cadena de suministro de agua, *Stakeholders* (Actores, Grupos de interés), Metas basadas en salud

A. ¿En qué consiste la tecnología/práctica?

La tercera edición de Guía de Calidad de Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud (*Guidelines for Drinking Water Quality - 3rd Edition - GDWQ*)²⁷⁰ constituye la base para la normativa actual sobre calidad del agua en muchos países del mundo. En la GDWG, los Planes de Salubridad del Agua (PSA) están descritos colectivamente como un enfoque sistemático e integrado para la gestión de suministro de agua basado en la evaluación y control de diversos factores que plantean un riesgo para la seguridad del agua potable. Durante todos y cada uno de los pasos de la captación, transporte, tratamiento y distribución, los PSA permiten la identificación de amenazas para la seguridad del agua potable. Este enfoque es fundamentalmente diferente de los adoptados tradicionalmente por los proveedores de agua, los cuales se basan en el tratamiento y prueba del producto final para asegurar la seguridad del agua. Cuando la implementación es exitosa, el enfoque del PSA puede asegurar que la calidad del agua se mantenga en casi cualquier contexto. La presente sección de la guía presenta un esbozo de los componentes principales de un PSA y discute los pasos generales que los grupos de interés deben tomar a lo largo de la implementación de un PSA.

El Capítulo 4 del GDWQ describe un marco para el manejo preventivo y la entrega de agua potable segura, el cual se ilustra en la Figura 12. Aunque los insumos y resultados específicos de los PSA pueden variar de caso a caso, los componentes básicos siguen siendo los mismos, independientemente del contexto. Como se muestra en la figura, un PSA consiste en tres actividades separadas: evaluación, monitoreo y gestión del sistema.

Figura 12: Marco para agua potable segura



Fuente: OMS (2008).ⁱ

Evaluación del sistema: Durante esta fase del PSA, se identifican los posibles riesgos para la calidad del agua y la salud en los pasos o ubicaciones clave, normalmente en lo que se refiere a Puntos Críticos de Control (PCC), dentro de los límites específicos de la cadena de suministro de agua. Los riesgos típicos para la salud podrían ser la contaminación de la captación de la fuente, el deficiente servicio de mantenimiento de los reservorios, válvulas con fugas o sistemas de recolección de torres de agua en malas condiciones higiénicas²⁷¹. Los riesgos asociados con los resultados negativos para la salud debidos a estos riesgos también son cuantificados en esta fase.

Monitoreo: Una vez que se han definido los riesgos para la salud, se los usa para desarrollar un plan priorizado específico para el sistema, para monitorearlos y controlarlos en cada PCC durante la fase de monitoreo de un PSA, plan que definirá los parámetros operativos, y los métodos de muestreo y reporte correspondientes. Es en este momento que deberían definirse los límites o metas críticas para estos parámetros. Es posible que los miembros y también el personal calificado de una comunidad dada combinen los métodos de monitoreo de calidad de agua de observación con los tradicionales.

Gestión: En esta fase del PSA se establecen las acciones necesarias para corregir cualquier problema identificado durante el monitoreo, los cuales pueden ser aligeramiento de la contaminación de la fuente de agua a través de las actividades de control en la cuenca, optimización de los procesos de tratamiento físicos o químicos, y prevención de nueva contaminación durante la distribución, almacenamiento y manejo²⁷². Al controlar los riesgos en los PCC del sistema de suministro de agua, se puede detectar cualquier problema que se esté dando en el punto de captación o la red de distribución y corregirlo antes de entregar agua de deficiente calidad al consumidor. Este método de monitoreo proactivo reduce los esfuerzos de muestreo que deben realizarse en el sistema de distribución. Además, se han establecido procesos para la documentación y registro, así como para la validación y verificación durante la fase de gestión.

La OMS ha publicado un documento con los fundamentos sobre este tema que describe el proceso que deben seguir los proveedores de agua para asegurar la adecuada planificación e implementación de un PSA²⁷³. La Figura 13 ilustra estos pasos, que se resumen a continuación²⁷¹:

- Armar un equipo que entienda el sistema de suministro de agua y su capacidad para cubrir las metas de calidad del agua.
- Identificar cuándo puede aparecer una forma de contaminación en el suministro de agua y cómo podría ser controlada.
- Validar los métodos empleados para controlar los riesgos.
- Establecer un sistema de monitoreo para verificar el suministro consistente de agua segura y acordar llevar a cabo acciones correctivas en caso de que se desvíe de los límites aceptables.
- Verificar periódicamente que el PSA está siendo implementado en forma correcta y tiene el desempeño requerido para cubrir los objetivos de seguridad de agua.

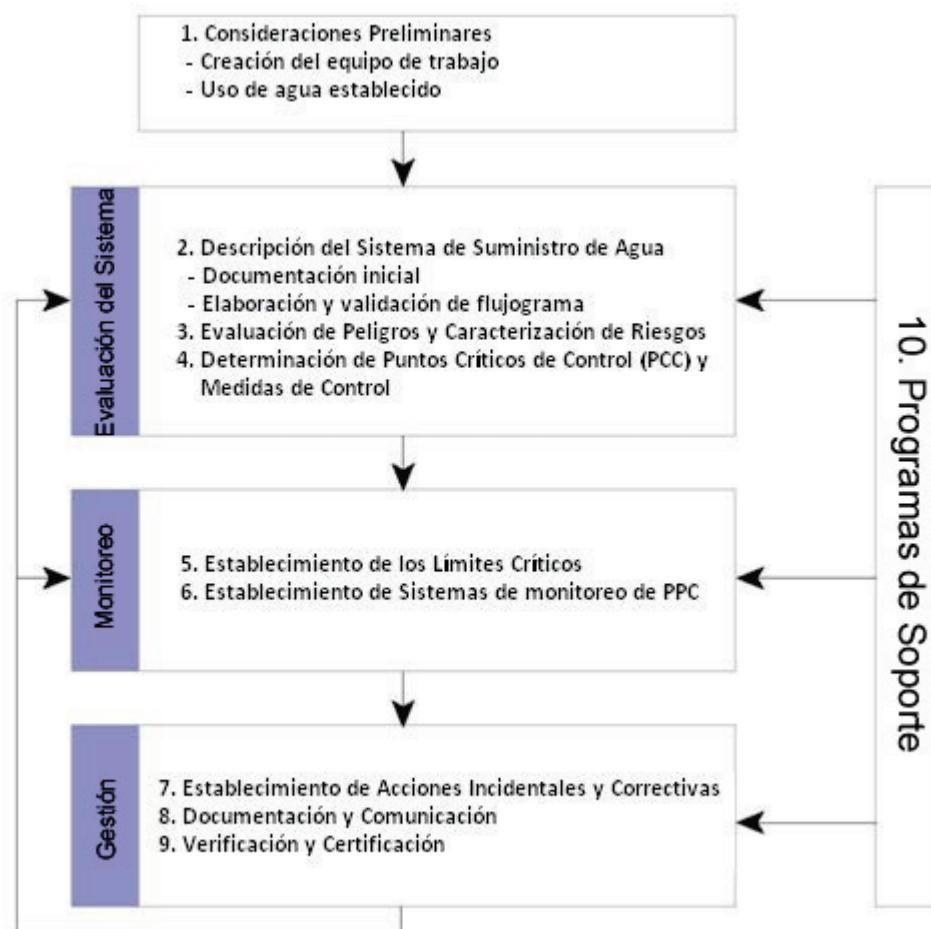
La publicación de la OMS sobre los PSA²⁷³ tiene su base en una diversidad de artículos que tratan sobre la protección de fuentes, procesos de tratamiento (a nivel de servicio de suministro y doméstico), distribución de agua potable y selección de parámetros y métodos analíticos^{274,275,276,277,278,279,280}. En la sección de Referencias se puede encontrar suficiente información sobre el análisis de peligros en los PCC^{281,282}; asimismo existe un manual gratuito en línea que brinda orientaciones detalladas sobre la implementación del PSA. Estas publicaciones deberían consultarse para mayor información sobre el planeamiento y desarrollo de un PSA.

Aunque el enfoque de un PSA es ampliamente generalizable, existen diversos factores que hacen que el diseño e implementación de los PSA difieran entre países en desarrollo y países desarrollados. En la Internet se puede ver un informe gratuito de WEDC sobre enfoques de PSA para sistemas urbanos de suministro de agua corriente en países en desarrollo que constituye un recurso valioso²⁷¹.

B. ¿Cómo contribuye la tecnología/práctica a la adaptación al cambio climático?

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático estima que este tipo de cambio llevará, entre otras cosas, a mayores temperaturas globales, inundaciones y períodos de sequía, así como a menores recursos de agua dulce y la elevación del nivel del mar²⁸⁴. Se prevé que estos cambios tendrán muchos efectos adversos en los recursos de agua potable de todo el mundo: la actividad cianobacteriana aumentará en los cuerpos de agua; la frecuencia de la contaminación física y química de estos cuerpos se incrementará; habrá una concentración de nutrientes dañinos y otros contaminantes en las fuentes de agua; se utilizarán las fuentes no protegidas para elevar las tasas, y se producirá intrusión salina en los ríos costeros y las fuentes de aguas subterráneas. Cualquier peligro resultante de un cambio climático tendrá como consecuencia mayores riesgos a la salud en la cadena de suministro de agua y tendrá implicancias en la seguridad del recurso hídrico.

Figura 13: Pasos del desarrollo de un PSA



Fuente: Adaptado de Davison, et al. (2005)²⁷³.

Los PSA contribuyen a la adaptación al cambio climático a nivel de la captación, principalmente a través de una resiliencia incrementada a la degradación de la calidad del agua. El enfoque del PSA permite que los proveedores de agua sean flexibles y respondan al cambio de parámetros de entrada, lo que significa que los componentes del monitoreo, la gestión y la retroalimentación de un PSA exitoso absorbe naturalmente los impactos agudos del cambio climático. El enfoque del PSA también puede ser modificado para adaptar

el cambio climático a largo plazo y desacelerar el inicio de los peligros reconociendo cómo puede verse afectado un sistema de suministro de agua por los efectos específicos del cambio climático, factorizando dichos efectos e identificando las medidas de control apropiadas.

C. ¿Cuáles son las contribuciones de la tecnología/práctica al desarrollo?

Se ha estimado que la carga de morbilidad atribuible a las deficiencias en la calidad del agua, saneamiento e higiene es 200 veces mayor en los países en desarrollo que en los países desarrollados²⁸⁵. Las enfermedades de transmisión por el agua disminuyen la productividad económica y confinan a los pueblos a la pobreza. Dado que los PSA se desarrollan con el fin de cumplir metas basadas en la salud que son específicas a la carga de morbilidad de una región en particular, el enfoque puede reducir significativamente el riesgo de exposición a peligros de salud que son los que más contribuyen a la morbilidad de los países en desarrollo²⁷³. Por tanto, los PSA pueden contribuir en forma importante al desarrollo económico reduciendo la carga de morbilidad de transmisión por agua en lugares de recursos limitados.

D. ¿Cuáles son los requerimientos de conocimiento/desarrollo de capacidades?

El equipo de diseño del PSA debe contar con un sólido conocimiento del área de la captación, las instalaciones de tratamiento y las redes de distribución que conforman un sistema de suministro de agua. Estos componentes deben ser mapeados y caracterizados para que se entienda cabalmente la capacidad del sistema para cubrir las metas de calidad del agua y se desarrollem las medidas de control, lo cual puede requerir una evaluación profunda de la cadena de suministro de agua, ya que es posible que se desconozca parte de la información antes del desarrollo del plan en sí.

También es importante que los diseñadores y actores del PSA entiendan en qué forma la calidad del agua afecta la salud, para así poder establecer los límites adecuados sobre los parámetros de calidad del agua. Esto requiere un conocimiento básico de las técnicas de muestreo y monitoreo descritas en el GDWQ. Además, los miembros del equipo de diseño deben tener un conocimiento práctico de las acciones correctivas que deberían adoptarse cuando la calidad del agua se desvía de los límites aceptables.

Son diversos los actores que usualmente participan en los diversos aspectos de la cadena de suministro de agua, por lo que el equipo de diseño del PSA debe entender la forma en que su implementación afectará las condiciones existentes en el sector. La comprensión de estas condiciones permitirá a los diseñadores del PSA facilitar la cooperación entre todos los actores. Para ello puede ser necesaria una revisión de la estructura organizativa e institucional actual, con el fin de establecer cuáles entidades tienen un derecho o responsabilidad en la seguridad del agua. Las Referencias incluyen información sobre el proceso para llevar a cabo una revisión profunda de las condiciones del sector²⁷¹.

E. ¿Cuáles son los requerimientos institucionales/ organizativos?

Los requerimientos institucionales y organizativos de un PSA están relacionados principalmente con necesidades de recursos humanos. El primer paso en la preparación de este plan es establecer una junta directiva compuesta de miembros de variados campos profesionales. Este equipo interdisciplinario será responsable de reunir la información de base necesaria para planificar el PSA y desarrollar sus componentes. La junta directiva debería estar conformada por ingenieros, gestores de calidad del agua, planificadores, topógrafos, sociólogos y profesionales de la salud²⁷¹. Además de la junta, debería quedar muy claro cuáles entidades o individuos son responsables de realizar el monitoreo operativo; documentar

y presentar informes de los resultados del monitoreo; tomar acciones correctivas, en caso necesario; realizar auditorías operativas; y certificar y validar el plan de evaluación de riesgos.

Para que la implementación de un PSA tenga éxito también es importante que todos los actores se comprometan en el proceso. Si bien la representación de las entidades interesadas en la junta directiva contribuirá a estimular la cooperación, en algunos casos puede ser necesario que los diseñadores del PSA deban hacer más esfuerzos para fomentar un ambiente de aceptación y confianza. Las estrategias para asegurar el compromiso a todos los niveles de participación del sector son un tema que también ha sido materia de diversas publicaciones^{271,273}.

F. ¿Cuáles son los requerimientos de costos y financieros?

Possiblemente, la implementación del PSA requerirá que los proveedores de agua aumenten la frecuencia de muestreo y el número de ubicaciones donde se monitorearán los indicadores de proceso tales como turbidez, cloro, residuales, pH, etc.; sin embargo, la cantidad de pruebas microbiológicas necesarias también disminuirá significativamente. De hecho, es probable que el costo de suministrar y distribuir agua segura a partir de un enfoque basado en riesgos, en realidad, sea menor que el de un enfoque de monitoreo de producto final tradicional²⁷³. Esto resulta especialmente cierto en los países en desarrollo, donde los insumos necesarios para pruebas de coliformes y otros ensayos microbiológicos son caros y donde un alto porcentaje de los fondos de monitoreo se gastan en kits de pruebas de campo o en el mantenimiento de laboratorios certificados de elevado costo. Inclusive en los casos en los que se debe comprar equipo para monitoreo en línea es casi seguro que el ahorro en costos recurrentes por el uso de indicadores de proceso para monitoreo en lugar de indicadores microbiológicos compensará la inversión de capital inicial.

En enfoque de PSA también puede tener como resultado menores costos institucionales a largo plazo. En general, en el proceso de planificación se identifican oportunidades para mejoras de bajo costo sobre operaciones y prácticas administrativas. Sin embargo, los PSA también optimizan la eficiencia de la comunicación y colaboración entre proveedores de agua, consumidores, autoridades reguladoras y los sectores comercial, ambiental y de salud. Estos crean un ambiente factible donde se puede apalancar soporte financiero y las necesidades de mejora de capital pueden ser priorizadas y sostenidas²⁸⁶.

G. ¿Cuáles son las barreras y las oportunidades para la implementación?

Las oportunidades para la implementación de PSA surgen cuando el proveedor se siente motivado a adoptar un enfoque basado en riesgos y existe la capacidad en recursos humanos para realizar los cambios necesarios. La principal barrera para la implementación de los PSA es que algunos actores pueden dudar en adoptar un paradigma fundamentalmente diferente para la gestión del suministro de agua. De otro lado, se ha reportado una serie de barreras para la implementación de los PSA que son específicos para países en desarrollo²⁷¹, entre ellas:

- Disponibilidad limitada de datos
- Desarrollo no planificado
- Carencia de infraestructura sanitaria
- Poco conocimiento del sistema
- Escasa disponibilidad de equipos/recursos humanos

Teóricamente, se puede poner en práctica un PSA en cualquier momento, para cualquier tipo de sistema de suministro y de cualquier dimensión. En la realidad, los pequeños sistemas de suministro de agua de gestión comunitaria enfrentan una cantidad de barreras únicas para planificar e implementar el PSA. En dichos sistemas, la sofisticación de las tecnologías puede variar, de un pozo perforado o pozo entubado equipado con una bomba manual, a esquemas de tratamiento complejo; la operación y el mantenimiento están a cargo de miembros de la comunidad con escasa especialización. En la mayoría de los casos, el personal de gestión puede comprometer solo un poco de tiempo para poner en funcionamiento el sistema y supervisar su operación, y reciben poca o ninguna capacitación formal o compensación financiera por ello. A menudo se ven forzados a confiar en gran proporción en los gobiernos locales o nacionales en lo que respecta a apoyo general y guía. Además, es probable que los gestores de dichos sistemas de suministro de agua tengan acceso limitado a pruebas de calidad de agua y equipos de construcción apropiados. En el capítulo 13 del libro *Planes de Salubridad de agua: Gestionando la calidad del agua potable desde la captación al consumidor (Water Safety Plans: Managing drinking-water quality from catchment to consume)*²⁷³ se ofrecen formas en que los encargados de sistemas de suministro de agua de gestión comunitaria pueden superar estas limitaciones en la planificación e implementación de los PSA.

Frecuentemente es muy difícil caracterizar los sistemas de suministro de agua en países en desarrollo. La limitada reglamentación del desarrollo ha tenido como resultado una expansión no planificada de las redes de agua y alcantarillado. El hecho de que rara vez se disponga de mapas actualizados y precisos de las redes dificulta la localización de las tuberías maestras y, en consecuencia, el análisis del sistema puede tener que basarse principalmente en el conocimiento de la población local. Esto se ve exacerbado por el hecho de que la contaminación cruzada de las tuberías de agua es común debido a la falta de acceso a servicios de saneamiento urbano y de recursos disponibles que limita el grado en que los proveedores de agua son capaces de mantener el adecuado funcionamiento y mantenimiento. Aunque existen muchos desafíos en la implementación de PSA en los países en desarrollo, este enfoque permite una evaluación mucho más holística y sólida de las amenazas para la seguridad del agua potable que los enfoques tradicionales que se concentran en la prueba del producto final.

H. Ejemplos y estudios de caso de diferentes regiones

Existe una diversidad de aplicaciones interesantes de los PSA en las comunidades de casi todas las regiones del mundo, entre ella África, las Américas y el Caribe, el Sudeste Asiático, Europa y el Pacífico Occidental²⁷². Los dos casos fundamentales de implementación exitosa de PSA, uno en una empresa de suministro público de gran escala en Melbourne (Australia)²⁸⁷, y otro en un pequeño sistema de suministro de gestión comunitaria en Kampala (Uganda)²⁸⁸, se citan con frecuencia como ejemplos a seguir²⁷³.

La OMS y la Asociación Internacional del Agua (IWA, *International Water Association*) han realizado una extensa compilación en línea, denominada *WSPortal*, que presenta estudios de caso, referencias y herramientas que proporcionan guía práctica y material basadas en pruebas de relevancia que pueden aplicarse apropiadamente a una diversidad de circunstancias²⁸⁹. El Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC, *Center for Disease Control and Prevention*) de los Estados Unidos, en asociación con la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) han desarrollado un recurso similar enfocado principalmente en la implementación de PSA en países de Latinoamérica y el Caribe. Ambos recursos de la red son sumamente valiosos y proporcionan lineamientos significativos para la implementación de los PSA.

5. Implementación de las Tecnologías y Prácticas para la Adaptación al Cambio Climático

El presente capítulo ofrece pautas sobre la implementación de las tecnologías y prácticas descritas en el Capítulo 4. Para cada una se responde a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo pueden ser implementadas las tecnologías, por quién y en qué contexto?
- ¿Cuáles son los pasos prácticos para implementar la tecnología?

Las tecnologías/prácticas y su implementación varían considerablemente; por lo tanto, la organización de cada sección de este capítulo es diferente. Muchas de las tecnologías/ prácticas requieren trabajos preparatorios sustanciales antes de la implementación y aquí describimos esas medidas preliminares. Los principales recursos externos, que se concentran en los aspectos generales de la implementación que fueron citados en el Capítulo 4 también son mencionados aquí. Sin embargo, los estudios de caso de los proyectos específicos, que incluyen información sobre el proceso de implementación, generalmente no son citados en esta parte del documento, para lo cual hay que remitirse al mencionado Capítulo 4.

Pozos Perforados/Pozos Entubados como Forma de Intervención contra la Sequía para Suministro de Agua Doméstica

Los recursos de aguas subterráneas, particularmente los acuíferos profundos, generalmente son más resilientes a la sequía que los recursos de aguas superficiales. Por lo tanto, el mayor acceso a los pozos perforados productivos es una de las claves para el alivio por la sequía. Los escenarios en que estas iniciativas resultan especialmente importantes incluyen las áreas rurales de las regiones áridas y semiáridas que no cuentan con un suministro centralizado.

Existen tres estrategias principales en las que se pueden utilizar los pozos perforados a fin de aliviar la sequía: perforación de pozos nuevos/ profundización de pozos existentes, reparación de pozos perforados dañados y destapado de “pozos perforados de desfogue/alivio” con uso restringido a períodos de sequía. El destapado de pozos perforados es casi exclusivamente del dominio de los gobiernos y sus contratistas. Cuando se aplican las dos primeras estrategias, específicamente para el alivio de la sequía, típicamente son implementadas por ONG, organizaciones internacionales, gobiernos o empresas del sector privado que se encuentran bajo contrato con estos últimos.

El alivio de la sequía puede hacerse mucho más efectiva a través del manejo adecuado de la gestión previa a la sequía, entre cuyos elementos principales están la evaluación de los recursos de aguas subterráneas, el análisis de la vulnerabilidad a la sequía de las aguas subterráneas y el desarrollo de la resistencia a la sequía en los programas de suministro de agua²⁹⁰. Para el caso del suministro de agua doméstica, también es esencial entender la distribución de la población, la ubicación y el estado de los puntos de agua²⁹¹. WaterAir ha puesto a disposición un informe sobre el mapeo de acceso a puntos de agua y el uso de los datos²⁹². Si estos datos no están disponibles antes de una sequía, puede ser necesario proceder bajo programación de emergencia, pero inclusive un levantamiento no minucioso de la distribución de la población y el estado de los puntos de agua puede mejorar la eficiencia del programa.

Antes de iniciar la perforación y profundización de un pozo para alivio de la sequía, los responsables de la toma de decisiones deberían explorar la posibilidad de arreglar el pozo ya que la reparación del equipo dañado del pozo (típicamente, arreglo de las bombas manuales) es mucho más efectivo en términos de costo y más rápido. Las deficiencias en el funcionamiento de un pozo perforado aumenta la presión sobre otros puntos de agua, lo que puede llevar a un abatimiento de las aguas subterráneas locales y fallas en el equipo. La reparación puede evitar esta cascada de fallas de puntos de agua. Los mecánicos pueden constituir un recurso importante para la reparación de bombas manuales^{66,57}.

Desalinización

La desalinización es la técnica que más se emplea en áreas con deficiencia hídrica en países ricos. Generalmente es cara y está supeditada a grandes economías de escala²⁹³. La debilidad en el sector de los recursos hídricos puede verse profundamente afectada por los elevados costos de la desalinización. Por ende, esta técnica es la más viable económicamente para los sistemas de transporte de agua corriente que tienen un buen funcionamiento y sirven a grandes poblaciones en áreas de agua dulce con recursos inadecuados²⁹⁴.

Como preparación para implementar la desalinización se deben seguir los siguientes pasos:

- Desarrollar una política clara de agua que utilice la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) como enfoque para determinar con precisión el potencial, demanda y consumo de recursos renovables de agua dulce. Solo cuando se entiende la adecuación de los recursos hídricos convencionales debería buscarse el desarrollo de recursos hídricos no convencionales (por ejemplo, salinos)²⁹⁵. Por lo general, la reutilización del agua es menos cara que la desalinización y, por tanto, debería recibir una fuerte consideración en el análisis de GIRH como alternativa a la desalinización.
- Implementar la conservación y gestión de la demanda de agua en todos los sectores. Los principales métodos incluyen la reducción del agua no rentable, el empleo de subsidios específicos únicamente limitados a ciertos casos y la prevención de la contaminación de las aguas subterráneas^{294,295}.
- Considerar la desalinización en combinación con otras fuentes de agua convencionales, incluida la reutilización de las aguas residuales tratadas, la importación transfronteriza de agua, cosecha de aguas pluviales, pequeños reservorios y microcaptaciones²⁹⁵.
- Antes de la construcción de una instalación de desalinización se debe realizar un estudio de factibilidad. En las Referencias se pueden encontrar ejemplos a este respecto^{296,297}. Esto debería incluir una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) formal que incluya, a título nominativo mas no limitativo, la evaluación de los efectos de la corriente de residuos concentrados sobre los ecosistemas, el impacto de la toma de aguas marinas sobre la vida acuática, el consumo de energía y las emisiones de gases con efecto invernadero^{298,299}.

Tras la realización de un estudio de factibilidad y un EIA, un panel gubernamental debería determinar si el proyecto continuará. En el caso del suministro municipal, la desalinización generalmente es implementada por los gobiernos, los cuales contratan el diseño y la construcción a grandes firmas consultoras con la experiencia específica en el tipo de desalinización planificada. Una vez que se ha aprobado la desalinización, el enfoque debería ser similar al que se ha utilizado para otros grandes proyectos de infraestructura.

Tratamiento y Almacenamiento Seguro del Agua Doméstica (TASAD)

El TASAD es una estrategia de adaptación que se administra y opera fundamentalmente a nivel doméstico. Por lo tanto, se emprenden diversos programas de implementación a diferentes escalas y todos ellos

comparten las metas de aumentar el uso sostenido y correcto del TASAD en casa. Entre algunos ejemplos de las estrategias del programa de TASAD están la distribución de los dispositivos para el TASAD a un pequeño grupo de familias a las que se imparte educación/capacitación, el desarrollo de una industria indígena para productos de TASAD, marketing y concientización sobre el TASAD, incremento en las tasas de uso de un producto ya disponible en el mercado local, respuesta a emergencias y exposición pública nacional de una o más tecnologías.

Los programas de implementación y capacitación a pequeña escala generalmente son llevados a cabo por ONG y algunas veces incorporan capacitación a empresarios locales para que forjen negocios basados en la producción y distribución del TASAD. Las empresas del sector privado han realizado esfuerzos para comercializar y distribuir sus propios productos de TASAD a escala nacional y regional (por ejemplo, el *PUR* de Procter & Gamble y el *Pureit* de Hindustan Lever). También se han conformado sociedades entre gobiernos y ONG grandes para el marketing social y distribución de productos de TASAD a gran escala, como es el caso de IDE en Camboya, USAID y PSI en numerosos otros países. Los programas de respuesta a emergencia comúnmente son facilitados por organizaciones internacionales y gobiernos nacionales.

Los pasos prácticos para implementar el TASAD variarán considerablemente según la escala de la operación y el enfoque específico adoptado. La implementación puede variar también sobre la base de la tecnología que se elige, particularmente en lo que respecta a los elementos consumibles (por ejemplo, cloro), y los durables (como los filtros). Sin embargo, existen factores que son importantes para todos los programas de TASAD:

- Cadena de suministro: asegurar que existe una cadena de suministro confiable para los bienes fungibles o repuestos esenciales para lograr un impacto a largo plazo.
- Capacitación: frecuentemente es necesario cierto grado de educación o capacitación en el uso correcto de la limpieza/mantenimiento. Con grupos pequeños, usualmente se emplea la capacitación cara a cara. En algunos casos, puede ser suficiente recurrir a material impreso. Todos los métodos deberían estar sujetos a pruebas piloto y ser evaluados tanto inmediatamente como posteriormente, durante la fase de seguimiento.
- Consideraciones de políticas públicas: el TASAD conlleva mejoras en la calidad del agua y la salud pero no debería ser utilizada como excusa para demorar la provisión de un suministro de agua entubada segura. En el caso de las iniciativas TASAD es especialmente importante que los ministerios gubernamentales correspondientes y los servicios públicos de suministro de agua se involucren en este tema antes de su implementación.

Los programas de TASAD pueden ser implementados en cualquier lugar en que la gente no tenga acceso a un suministro de agua potable corriente segura durante 24 horas al día, pero algunos escenarios pueden resultar especialmente oportunos para su éxito, como los casos en que los beneficios del TASAD, no relacionados con la salud, son percibidos como importantes, como por ejemplo cuando las fuentes de agua son muy turbias, el costo de comprar agua de mayor calidad es muy alto y las normas sociales promueven la provisión de agua potable limpia para los visitantes. Además, durante crisis asociadas a la contaminación hídrica, como desastres naturales y epidemias de enfermedades de transmisión por agua, es muy común que la demanda por el TASAD aumente.

Uno de los recursos clave para explorar las opciones de implementación del TASAD es el informe de la OMS, *Optimización del Tratamiento de Agua Doméstica entre las Poblaciones de Bajos Ingresos (Scaling-up Household Water Treatment among Low-Income Populations)*³⁰⁰, el cual incluye una sección

que aborda las principales estrategias de implementación más comunes utilizadas para las tecnologías de TASAD, con las lecciones aprendidas durante la implementación de cada tecnología.

Mejoramiento de la Resiliencia de los Pozos Protegidos a las Inundaciones

En muchas regiones donde suele haber inundaciones, un elevado porcentaje de la población depende de los pozos protegidos para su provisión de agua potable. Los pozos protegidos pueden proporcionar un suministro de agua altamente resiliente a las inundaciones, pero el diseño y construcción inadecuada de estos puede aumentar su vulnerabilidad (ver la Sección Mejoramiento de la Resiliencia de los Pozos Protegidos a las Inundaciones, de esta Guía)³⁰¹.

Dos medidas preliminares pueden incrementar considerablemente la eficiencia y la efectividad en costos de la implementación. La primera es investigar la distribución de la población y la ubicación del punto de agua con respecto a las llanuras de inundación locales, con el objetivo de mantener el acceso al punto de agua durante la inundación según las pautas para emergencias de la OMS que señalan la distancia a un punto de agua y la cantidad de personas por punto de agua³⁰². La segunda medida es evaluar el estado de reparación y la vulnerabilidad de los puntos de agua existentes. Para las áreas identificadas como de alta prioridad, se debe llevar a cabo un estudio sanitario de pozos protegidos como el que se describe en el Anexo 2 de la segunda edición de las Guías para Calidad de Agua Potable (GDWQ) de la OMS; en el capítulo 6 de ese mismo documento se describen otras consideraciones particularmente importantes para las inundaciones³⁰³. Asimismo, es importante sellar totalmente cualquier pozo situado en las llanuras de inundación para reducir la posibilidad de contaminación directa de las aguas subterráneas por acción de la inundación.

Estos pasos preliminares generalmente son realizados por los gobiernos locales o provinciales. Una vez que se ha determinado el estado de los puntos de agua, población y llanuras de inundación, se puede diseñar una estrategia de implementación apropiada. Las principales estrategias incluyen: reparación de los pozos existentes, elevación/ modificación de los cabezales de pozo existentes y construcción de pozos nuevos. Se puede contratar a los sectores locales de ingeniería, mecánica y construcción para llevar a cabo pruebas piloto o realizar la implementación misma³⁰⁵.

Aumento del Empleo de Accesorios y Dispositivos de Uso Eficiente de Agua

Los países industrializados han visto una reducción en el consumo de agua residencial a través de la difusión del empleo de accesorios y dispositivos de uso eficiente de agua³⁰⁶. Aunque la introducción de estos productos al mercado conllevará una captación moderada, su uso puede verse incrementado a través de las tres estrategias principales: obligatoriedad, incentivos tributarios y etiquetado. Por otro lado, algunas de las empresas de servicio público de agua han intentado la libre distribución de accesorios baratos de uso eficiente de agua (por ejemplo, duchas de bajo flujo), en un esfuerzo por reducir el uso de agua doméstica³⁰⁷.

La obligatoriedad y los incentivos tributarios son mecanismos que deben ser implementados por los gobiernos. Sin embargo, los esfuerzos que haya que hacer para lograr promulgar una legislación de ese tipo pueden ser tarea de diversas organizaciones ambientales, profesionales y la industria. Los sistemas de etiquetado y certificación hipotéticamente pueden ser introducidos por el sector industrial o los grupos profesionales, pero es posible que se necesiten fiscalización o supervisión gubernamental para asegurar que el sistema tiene credibilidad entre los consumidores.

En general, estas estrategias trabajan mejor en condiciones en que:

- Las viviendas tienen una conexión que puede ser medida (es decir, que se les cobra por volumen)
- Las cuentas mensuales por agua representan un porcentaje no despreciable del ingreso promedio
- Los ciudadanos tienen conciencia ambiental
- Las comunidades desean conservar sus recursos comunes

En los casos en que parte de las viviendas tienen cuentas fijas (no medidas) de agua, la obligatoriedad y los incentivos legales pueden ser utilizados para motivar el uso de los accesorios y dispositivos a los que se hace referencia. Por otro lado, el etiquetado puede no ser tan efectivo porque el menor uso de agua no implicará ahorro de dinero.

El informe Estudios sobre los Estándares de Eficiencia del Agua (*Study on Water Efficiency Standards*)³⁰⁸ de la Comisión Europea 2009 presenta, en su séptimo capítulo, las recomendaciones para las medidas que deben establecerse para un enfoque de la Unión Europea sobre este tema. Entre las principales están:

- Los accesorios y dispositivos deberían ser materia de estudio y los planes deberían tratarse con los principales grupos interesados, como por ejemplo las empresas urbanizadoras, de construcción y fabricación.
- Se deberían establecer enfoques (es decir, sobre legislación, etiquetado o incentivación) para cada clase de producto, como por ejemplo, normas de volumen bajo para inodoros, etiquetado para lavadoras de platos). Aquí se debe definir si cada parámetro será una norma obligatoria o una guía o certificación opcional.
- Se debería evitar la ambigüedad en las normas, pruebas, procedimientos de cumplimiento y sanciones.
- Se debería establecer un programa promocional a gran escala para publicitar todo sistema de etiquetado /certificación.
- Se deben tomar previsiones para la revisión y actualización de estándares. Para un ejemplo de un programa de esta naturaleza, consultar los factores que determinan la revisión de las normas *Energy Star* de la US EPA.

Muchos países han logrado una reducción significativa del consumo de agua doméstica a través de dichos programas. La carga de establecer un nuevo enfoque puede ser aminorada adoptando los estándares y guías que han comprobado su éxito en otros lugares. En el informe de la Comisión Europea citado anteriormente se puede encontrar una revisión más minuciosa de los programas de eficiencia del agua en el mundo entero³⁰⁸.

Manejo, Detección y Reparación de Fugas en Sistemas de Agua Corriente

La reducción en las pérdidas por fugas en los sistemas de distribución de agua corriente constituye una estrategia clave para la conservación del agua tanto en países ricos como en naciones en desarrollo. Las tasas de fugas del 10% al 20% son consideradas normales y, en algunas zonas de los Estados Unidos, la infraestructura antigua tiene fugas de hasta 50%^{310,311}. El manejo, la detección y la reparación de las pequeñas fugas subterráneas son funciones esenciales de la operación y el mantenimiento de todos los servicios públicos de agua, y también pueden ser importantes para las juntas de agua de los sistemas de gestión comunitaria. Sin embargo, la mayoría de los métodos de detección y manejo de fugas solo son apropiados para sistemas que funcionan con presiones elevadas, por lo que, a pesar de su importancia,

la fuga es muy difícil de detectar y manejar en sistemas de funcionamiento deficiente, con períodos de servicios menores a las 24 horas.

Una medida preliminar que podría emprenderse antes de implementar un programa de manejo, detección y reparación de fugas es una auditoría de recursos hídricos. Las auditorías de recursos hídricos se utilizan para cuantificar el volumen y la ubicación de las fugas en un sistema de distribución, permitiendo de este modo la priorización de las actividades del programa. En otros lugares se puede encontrar mayor información y materiales de capacitación para las auditorías de agua^{310,312}.

El manejo de fugas comprende tanto la identificación precisa de la ubicación de las fugas como el manejo de la presión. La presión elevada aumenta las pérdidas en fugas y los daños al sistema; esto puede ser ventajoso para reducir la presión durante períodos de baja demanda. Pueden instalarse válvulas especializadas para regular la presión (por ejemplo, productos de CLA-VAL) y se debería contratar consultores para evaluar las opciones de manejo de presión apropiada para un sistema³¹³. Aun cuando el manejo de la presión puede ser una herramienta importante, el mantener la presión durante las 24 horas debería ser la primera prioridad³¹³, por lo tanto, no se debería usar el manejo de presión en sistemas que sufren de flujo intermitente o que no pueden cubrir una demanda de 24 horas diarias³¹⁴.

La detección y reparación de fugas pueden implementarse en cualquier sistema de agua corriente. Las tecnologías utilizadas, especialmente para la detección de fugas, deberían ser apropiadas para los recursos del sistema. La mayoría de empresas de suministro público, particularmente las pequeñas, en general deberían contratar a empresas consultoras que cuenten con el debido conocimiento para realizar la detección de fugas.

Soporte Posconstrucción (SPC) para Sistemas de Suministro de Agua de Gestión Comunitaria

La base de la evidencia para el SPC es pequeña pero está creciendo. Presenta un caso convincente de que el soporte técnico, financiero y administrativo continuo para sistemas de agua de gestión comunitaria puede mejorar notablemente su funcionamiento y sostenibilidad. Los pasos principales para la planificación e implementación de los programas de SPC son materia de un excelente y exhaustivo informe de USAID sobre soporte institucional para sistemas de gestión comunitaria en América Latina que se encuentra disponible en línea³¹⁵.

Los programas de SPC son usados en los países desarrollados y en desarrollo en todo el mundo; son aplicables en cualquier contexto en el cual las poblaciones rurales administran sus propios sistemas de suministro de agua potable. Algunos programas de SPC son el resultado de un proceso formal, usualmente de iniciativa del gobierno, como ayuda para los sistemas pequeños; otros evolucionan en el tiempo en respuesta a la demanda por apoyo. En algunos escenarios, las ONG pueden estar ya muy involucradas en el SPC, y a menudo ofrecen sus servicios gratis. En estos casos, es importante evaluar si la expectativa del soporte de la ONG puede socavar la voluntad de las comunidades para invertir en un programa de SPC recientemente establecido.

Los esquemas incluidos en el capítulo 6 del Informe de USAID proporcionan lineamientos sobre las cuatro fases más importantes de la planificación y la implementación; tres de ellas son preliminares a esta última y en dicho informe se describen de la siguiente manera:

- Evaluación: Revisión y análisis del sector rural y las estrategias utilizadas para el suministro de agua en el área rural.

- Diseño: Diseño detallado del modelo de SPC basado en los hallazgos de la fase de evaluación, incluida la definición de los roles y responsabilidades institucionales, el desarrollo de un presupuesto detallado y un sistema de monitoreo.
- Preparación: Adquisición de equipos, establecimiento de oficinas, reclutamiento y capacitación de personal, y desarrollo de un programa de marketing³¹⁵.

El informe de USAID incluye instrucciones detalladas sobre la implementación del SPC, las cuales se resumen brevemente aquí. Todos los programas de implementación deberían iniciarse a escala de pruebas piloto o prueba de campo durante las cuales se deberían establecer vínculos con organizaciones e instituciones locales. Los programas de pruebas piloto y campo deberían incorporar evaluación y monitoreo, con mecanismos de retroalimentación claros y, en caso sea necesario, modificaciones. Al cabo de un período de 18 a 36 meses, se debería llevar a cabo una revisión del progreso y el impacto de los programas, y los programas exitosos deberían ser evaluados para su posible réplica y expansión en otras áreas.

Los programas de SPC son diversos. Para mayores detalles y estudios de caso sobre la implementación de programas específicos de SPC, referirse al capítulo de esta guía que lleva por título Soporte Posconstrucción (SPC) para Sistemas de Suministro de Agua de Gestión Comunitaria y a las referencias que ahí se citan.

Colecta de Agua Pluvial de la Superficie del Suelo – Pequeños Reservorios y Microcaptaciones

En zonas secas, la infraestructura de colecta de agua a pequeña escala puede contribuir tremadamente a la cantidad de agua dulce disponible para uso humano. Esto resulta especialmente cierto en las regiones áridas y semiáridas, donde la precipitación limitada usualmente es muy intensa y, a menudo, estacional. Debido a esto, la escorrentía y los flujos de ríos pueden ser abundantes por breves períodos e inexistentes durante el resto del año^{316,317}. La colecta y la infraestructura de almacenamiento pueden ser muy importantes para las comunidades agrícolas, particularmente las que dependen de la agricultura de secano o en las que se están agotando las aguas subterráneas. Las oportunidades y beneficios del desarrollo de capacidad de pequeños reservorios generalmente son mayores cuando la disponibilidad de agua es inadecuada pero las preocupaciones ambientales, sociales o legales excluyen el desarrollo de reservorios grandes.

Antes de la implementación de pequeños reservorios comunitarios se debe realizar un estudio de factibilidad, incluyendo una evaluación de la capacidad de almacenamiento disponible y de los posibles impactos hidrológicos en los posibles sitios donde se desarrollan los proyectos. Por lo general, los estudios de factibilidad son iniciativas de los gobiernos locales, pero la participación de las comunidades y otros actores es fundamental, como se describe más adelante. Dentro de esta línea, debería exigirse un procedimiento para que el gobierno evalúe los impactos ambientales y de otra naturaleza con respecto a las condiciones locales, y otorgue su aprobación.

Aunque se ha reportado que los impactos ambientales e hidrológicos de estos proyectos son menores, la construcción de un pequeño reservorio a menudo puede hacer surgir un conflicto^{210,318}, por lo que se debe fomentar la participación de los actores durante las etapas de planificación e implementación. En las Referencias se incluye el marco utilizado para incorporar a los pequeños actores en la toma de decisiones de un pequeño reservorio en Zimbabue³¹⁹. Como en el caso de los sistemas pequeños de agua potable, existen mayores probabilidades de que los proyectos de pequeños reservorios fracasen si la tecnología y la ubicación no responden a las demandas de la comunidad³²⁰.

Tras la selección del sitio, la evaluación de factibilidad y la participación comunitaria en la adquisición, la implementación debería llevarse a cabo en forma muy parecida a la de un proyecto de construcción de infraestructura. Se puede contratar topógrafos, ingenieros y contratistas de acuerdo a las diversas etapas del trabajo. En las Referencias se incluye un flujograma de proceso para el desarrollo de un pequeño reservorio en Zimbabue³¹⁹.

Cosecha de Agua Pluvial en Techos (CAP)

Como en el caso del TASAD, la CAP en techos es una estrategia de adaptación que se maneja y opera a nivel doméstico. Por lo tanto, los programas de implementación de CAP en techos son similares a los del TASAD en que ambos recurren a una amplia gama de estrategias a diferentes escalas, con un objetivo común. Para la implementación de la CAP, el objetivo (del usuario y/o el implementador) es aumentar el volumen del agua relativamente captada y ponerla a disposición para el uso doméstico.

El tratamiento más extenso de la implementación de la CAP en techos puede encontrarse en la publicación *Cosecha de Agua de Lluvia: Guía para los Ejecutores (Roofwater Harvesting: A Handbook for Practitioners)*. Los modelos para entrega de CAP en techos listados en ese documento incluyen lo siguiente (la parte financiera se indica entre paréntesis):

- Autoconstrucción (financiada por la familia)
- Autoprovisión con elementos disponibles en el mercado (financiada por la familia)
- Programa gubernamental de agua rural (subsidiado por el gobierno total o parcialmente con contribución de la familia)
- Con ayuda de ONG (subsidiada por la ONG total o parcialmente con contribución de la familia)
- Instalada con construcción nueva (financiada por el constructor, pagada posteriormente por partes/mano de obra por la familia)³²¹.

Los modelos de CAP financiados por la familia o el constructor generalmente son impulsados por el mercado, sin subsidio o participación de implementadores externos. Sin embargo, algunos implementadores a veces pueden orientar los mercados locales de CAP entrenando artesanos y microempresarios o importando tecnologías de otros países, aumentando así la disponibilidad, calidad y/o diversidad de los productos de CAP en los mercados. Adicionalmente, los gobiernos y las ONG pueden tener el mismo rol en el fomento del uso de la CAP y asegurar la calidad del producto a través de la educación, el control de calidad, la certificación del producto y los incentivos tributarios³²¹.

Los modelos de CAP en techos subsidiados por los gobiernos o las ONG se han convertido en algo cada vez más popular, particularmente desde que la CAP en techos fue incluida como una categoría de “suministro de agua mejorada” como parte de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. De acuerdo a la publicación de la IRC citada anteriormente, todo programa de CAP doméstica en techos subsidiada debe incluir las siguientes seis actividades:

- Un estudio preliminar para confirmar que la CAP doméstica es económicamente viable en el área meta (es decir, que proveerá agua más barata por medio del incremento de fuentes puntuales).
- Un proceso de educación/ popularización por medio del cual se enseña a los dueños de casa los beneficios y también las limitaciones de la tecnología en la que se le alienta a invertir.
- Una política de subsidios bien definida (es decir, el financiamiento del gobierno o la ONG pagarán solo por una parte mínima del sistema de CAP por vivienda y todo exceso debe ser cubierto por la familia beneficiaria).

- Un proceso de selección de familias que identifica cuáles son físicamente adecuadas para CAP, financieramente capaces de pagar una parte de sus costos y “merecedoras del subsidio” (debido, por ejemplo, a la pobreza, la distancia, los puntos de agua existentes, etc.).
- Una cadena de suministros para repuestos.
- Un proceso de instalación que utiliza la mano de obra local con alguna forma de control de calidad³²¹.

También se deben determinar las opciones técnicas que se les ofrecerá a las familias. En forma ideal, esta determinación se realizará a través de un proceso que se basa en la preferencia y demanda del usuario local, y que también implica la revisión técnica de los expertos en CAP para determinar la adecuación en el contexto local. En la publicación del IRC citada anteriormente³²¹ se muestra una guía extensiva sobre los aspectos técnicos del diseño para sistemas de CAP.

Recuperación y Reutilización de Agua

La recuperación y reutilización de agua, haciendo uso de las aguas residuales municipales tratadas como recurso, pueden ser un importante componente de las estrategias holísticas para conservar los recursos de agua dulce. Estas técnicas se practican casi universalmente en el riego agrícola en los países áridos y semiáridos³²². Dado que los recursos de agua dulce están cada vez bajo mayor estrés debido al crecimiento de la población y el mayor uso per cápita de agua, se ha vuelto necesario para muchas naciones utilizar las aguas residuales municipales como recurso. Los programas de recuperación y reutilización de agua generalmente son iniciados e implementados por los gobiernos y sus contratistas.

Al igual que en el caso de la desalinización, la posible implementación de la recuperación y reutilización debería ser evaluada como parte de un enfoque de GIRH. En el capítulo 25 de Reutilizar el agua: Temas, Tecnologías y Aplicaciones (*Water Reuse: Issues, Technologies and Applications*) se ofrece una breve descripción de cómo se puede evaluar y comparar la reutilización de agua a otras opciones de suministro dentro del marco de la GIRH. Cada uno de los pasos principales que se señalan a continuación incluyen “la percepción y el alcance público” y un proceso de retroalimentación iterativo³²³:

- Aclarar el problema
- Formular objetivos y criterios de evaluación
- Reunir información de base y realizar proyecciones
- Identificar alternativas de proyecto, incluidas la recuperación y reutilización de agua
- Evaluar y calificar alternativas
- Seleccionar una alternativa, refinar la propuesta y desarrollar un plan para la implementación³²³.

El éxito de los proyectos de reutilización de agua se articula con la aceptación pública quizás a un nivel mayor que cualquier otra intervención de suministro de agua. Los enfoques pasados que han minimizado el aporte público usando la política “decidir, anunciar y defender” son ampliamente reconocidos por su ineficacia. Por otro lado, también se ha demostrado que el uso de programas de educación y llegada al público después de la concepción de un proyecto es inadecuado. Las estrategias más recientes para proyectos de reutilización de agua incluyen la participación de la comunidad antes de la concepción del proyecto, en las etapas de planificación y a lo largo de su implementación. Existe en línea una revisión bibliográfica de los factores que influyen en las percepciones públicas de la reutilización de agua, estudios de caso de enfoques con y sin éxito, y posibles estrategias para abordar la resistencia de la población³²⁴.

Además de la percepción pública, entre los factores que deben ser evaluados y tratados antes de la implementación de la recuperación y reutilización de agua están:

- Recursos humanos y capacidad técnica
- Marco regulatorio y de políticas
- Regulación y gestión institucional
- Financiamiento público

Estos temas se abordan brevemente en la Sección Recuperación y Reutilización de Agua del Capítulo 5 de esta guía y encuentran mayor detalle en el informe de la UNEP que se titula *Reutilización de Agua y Aguas Residuales: Un Enfoque Ambientalmente Sólido para la Gestión Sostenible de Recursos Hídricos Urbanos (Water and Wastewater Reuse: An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management)*³²⁵.

Planes de Salubridad de Agua (PSA)

El enfoque de PSA es fundamentalmente diferente al de los enfoques tradicionales utilizados por los proveedores públicos de agua para garantizar la seguridad de esta. Los PSA no se basan con tanto énfasis en la prueba del producto final, sino que, más bien, están diseñados para identificar y enfrentar las amenazas a la seguridad del agua durante todos los pasos de la captación, transporte, tratamiento y distribución del agua potable³²⁶.

Las oportunidades para la implementación de los PSA surgen en cualquier caso en que el proveedor se vea motivado a seguir un enfoque basado en riesgos y cuando existe la capacidad de recursos necesarios para efectuar los cambios que se requieren. La principal barrera para la implementación de los PSA es que ciertos actores pueden dudar en adoptar un paradigma tan esencialmente diferente para la gestión del suministro de agua.

El desarrollo del enfoque de PSA es relativamente nuevo y la literatura se compone, en su mayoría, de estudios de caso y guías de implementación. La OMS y la IWA han publicado un manual conciso de implementación que se encuentra en línea gratis y constituye un recurso valioso para cualquier empresa de servicio público que esté considerando poner en práctica los PSA³²⁷. Los once módulos están organizados como para brindar un enfoque paso a paso para la implementación de estos planes:

- Conformar un equipo para el PSA.
- Describir el sistema de suministro de agua.
- Identificar los peligros y eventos peligrosos, y evaluar los riesgos.
- Determinar y validar las medidas de control; reevaluar y priorizar los riesgos.
- Desarrollar, implementar y mantener un plan de mejoramiento/ elevación de calidad.
- Definir el monitoreo de las medidas de control.
- Verificar la efectividad del PSA.
- Preparar procedimientos de gestión.
- Desarrollar programas de soporte.
- Planificar y realizar revisiones periódicas del PSA.
- Revisar el PSA después de un incidente³²⁷.

Además, la OMS y la IWA desarrollaron hace poco la Herramienta de Aseguramiento de Calidad de PSA (*WSP, Quality Assurance Tool*) que se encuentra en Internet³²⁸ y que proporciona un excelente recurso para el diseño e implementación de los PSA, así como para evaluarlos y mejorarlos constantemente.

Asimismo, la OMS ha publicado un extenso informe con el título *Planes de salubridad de agua: Gestión de la calidad del agua potable desde la captación al consumidor* (*Water safety plans: Managing drinking-water quality from catchment to consumer*), el cual incluye mayores detalles sobre los procesos que los proveedores de agua deben seguir para asegurar la correcta planificación e implementación de un PSA. Además de proporcionar un amplio estudio del tratamiento de los pasos principales en la implementación, el informe incluye un capítulo sobre consideraciones especiales para implementar los PSA para sistemas pequeños de gestión comunitaria. Dado que es improbable que los sistemas pequeños cuenten con los recursos para desarrollar PSA específicos para su sistema, se presentan dos enfoques para sistemas de reducida dimensión: el uso de PSA genérico o el uso de lineamientos para ayudar al desarrollo local. La implementación de ambas estrategias se describe en el capítulo 13 del informe de la OMS³²⁹.

En los países en desarrollo pueden existir otras barreras para la implementación de los PSA, entre ellas: información limitada sobre las redes de tuberías, desarrollo no planificado, carencia de infraestructura sanitaria y otros. La WEDC tiene un informe disponible en línea que trata estos factores para sistemas de suministro de agua corriente en dichos países.³³⁰

6. Conclusiones

La presente guía fue diseñada como un recurso accesible para los actores de los sectores de recursos hídricos de los países en desarrollo y brinda información de base sobre el cambio climático en esta área, información experta sobre las tecnologías y prácticas de adaptación, y una guía práctica sobre su implementación.

Se estima que el cambio climático tendrá impactos adversos sobre los recursos hídricos y el suministro de agua. A menudo estos efectos se verán exacerbados por otros factores de estrés que ocurren paralelamente, tales como el crecimiento demográfico, el cambio en el uso de suelos y el aumento de la demanda de agua per cápita. La mitigación por sí sola será insuficiente para evitar impactos sustanciales en el sector de recursos hídricos, en particular en los países en desarrollo^{321,322}. La Declaración de Delhi establece que la adaptación es de “alta prioridad” para los países en desarrollo e incluye una demanda para la “atención y acción urgentes por parte de la comunidad internacional”³³³.

En este documento se describen en detalle once tecnologías y prácticas del sector de los recursos hídricos y también se presentan brevemente otras cuatro estrategias de adaptación. Esta no es, bajo ningún punto de vista, una lista exhaustiva de las adaptaciones posibles; sin embargo, sí pretende presentar las principales opciones de adaptación que oscilan en la escala que va desde la vivienda familiar hasta la ciudad o región.

Los temas que han surgido al describir la implementación de estas diversas estrategias de adaptación son recurrentes e incluyen la importancia de pasos preliminares para asegurar que las intervenciones sean eficientes y efectivas, muchos de los cuales implican la recolección de datos y la comprensión de la oferta y demanda de agua. Por ejemplo, conocer la distribución actual y el estado de reparación de los puntos de agua en las áreas rurales es esencial para maximizar el impacto de los programas de agua rural. La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) y los Planes de Salubridad (PSA) brindan enfoques para la recolección de datos en el área de los recursos hídricos y suministros de agua. Otro tema clave que se hizo evidente fue la importancia de las políticas locales y los marcos legales para muchas de las estrategias. Por ejemplo, las leyes sobre derechos de agua varían ampliamente y pueden permitir u obstaculizar los esfuerzos comunitarios para recolectar agua de lluvia y escorrentía.

Finalmente, la adaptación no debería ser entendida simplemente como la implementación de la tecnología o práctica correcta, sino que debería ser parte de una estrategia intersectorial coherente para garantizar recursos hídricos sostenibles y suministro de agua segura . En este sentido, se introdujeron dos marcos amplios para ayudar a guiar la toma de decisiones para la adaptación al cambio climático en el sector de los recursos hídricos: la GIRH y los PSA. En el Apéndice II se ofrecen mayores detalles y recursos para aplicar estas dos estrategias a la adaptación al cambio climático.

7. Referencias

1. UNEP Riso Centre (2010) Technology Needs Assessment (TNA) Project. Project Background. <http://techaction.org/about.htm>. Fecha de Acceso: Febrero 1 2011.
2. UNEP Riso Centre (2010) Technology Needs Assessment (TNA) Project. Resources. Guidebooks. <http://techaction.org/resources.htm>. Fecha de Acceso Febrero 1 2011.
3. Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen y I.A. Shiklomanov (2007) Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.
4. Pachauri, R. (2010) Opening of the 16th session of the Conference of the Parties (COP 16) Cancun - Mexico, Noviembre 29 2010. Declaración entregada por Dr Rajendra Pachauri, Presidente del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/COP16/StatementCancunDrPachauri.pdf. Fecha de Acceso: Enero 31 2011.
5. Pielke, R.A. Jr, Prins, G., Rayner S., and Sarewitz, D.. (2007) Lifting the taboo on adaptation. *Nature* 445:597–98
6. UNFCCC (2002) The Delhi Ministerial Declaration on Climate Change and Sustainable Development. http://unfccc.int/cop8/latest/delhidcl_infprop.pdf. Fecha de Acceso: Enero 28 2011.
7. IPCC (2007) Annex I: Glossary. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Equipo de Redacción Central, Pachauri, R.K y Reisinger, A. (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra. <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/ar4-wg3.pdf>
8. WHO and DFID (2010) Vision 2030: The Resilience of Water Supply and Sanitation in the Face of Climate Change: Summary and Policy Implications. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/vision_2030_summary_policy_implications.pdf
9. IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Equipo Principal de Redacción, Pachauri, R.K y Reisinger, A. (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra.
10. UN-Water (2009) UN-Water Policy Brief for COP15. "Climate change adaptation is mainly about water". Copenhagen. http://www.unwater.org/downloads/UNWclimatechange_EN.pdf. Fecha de acceso: Enero 21 2011.
11. Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof, Eds. (2008) IPCC: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Ginebra, 210 pp.
12. Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen y I.A. Shiklomanov (2007) Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.
13. Wang, L., S. Kanji y S. Bandyopadhyay (2009) The Health Impact of Extreme Weather Events in Sub-Saharan Africa. The World Bank Sustainable Development Network. Environment Department. WPS4979.

14. Wallis, M.J., M.R. Ambrose, y C.C. Chan (2008) Climate Change: Charting a Water Course in an Uncertain Future. *Journal AWWA*, Vol. 100:70-79.
15. IPCC (2007) Summary for Policymakers. En: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22.
16. WHO (2007) The International Decade For Action Water For Life - 2005-2015. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. http://www.who.int/water_sanitation_health/wwd7_water_scarcity_final_rev_1.pdf.
17. Linham, M.M. y R.J. Nicholls (2010) Technologies for Climate Change Adaptation—Coastal Erosion and Flooding. UNEP Risoe Centre. http://tech-action.org//Guidebooks/TNAhandbook_CoastalErosionFlooding.pdf. Fecha de Acceso Febrero 1 2011.
18. The Mekong River Commission (2001) MRCS Environment Training Program Case Studies—CR18: Saltwater Intrusion in the Mekong River Delta. Vientiane. www.mrcmekong.org/.../CS18%20--20Mekong%20River%20Delta%20Saltwater%20Intrusion.pdf
19. Wada,Y., L. P. H. van Beek, C.M. van Kempen, J.W.T.M. Reckman, S. Vasak, y M.F.P. Bierkens (2010) Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters* Vol. 37:L20402.
20. Ward, P.J., K.M. Strzepek, W.P. Pauw, L.M. Brander, G.A. Hughes y J.C.J.H. Aerts (2010) Partial costs of global climate change adaptation for the supply of raw industrial and municipal water: a methodology and application. *Environ. Res. Lett.* Vol. 5:044011.
21. Levina, E. y D. Tirpak (2006) Adaptation to Climate Change: Key Terms. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. <http://www.oecd.org/dataoecd/36/53/36736773.pdf>. Fecha de acceso: Enero 24 2011.
22. IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
23. IPCC (2007) Summary for Policymakers. En: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22.
24. Gleick, P.H. (2006) *The World's Water 2006–2007: The Biennial Report on Freshwater Resources; Data Table 2: Freshwater Withdrawal by Country and Sector*. Island Press. Washington, DC. pp. 230-236.
25. Garg, A., D.C. Upadhyay and D. Hongmin (de próxima aparición) *Technologies for Climate Change Mitigation: Agriculture Sector*. UNEP Risoe Centre. Roskilde, Denmark.
26. IPCC (2007) Annex I: Glossary. *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
27. Calow, R.C., Robins, N.S., Macdonald, A.M., Macdonald, D.M.J., Gibbs, B.R., Orpen, W.R.G., Mtembezeka, P., Andrews, A.J., y Appiah, S.O. (1997) Groundwater management in drought-prone areas of Africa. *Water Resources Development* Vol. 13:241-261.
28. Wada,Y., L. P. H. van Beek, C.M. van Kempen, J.W.T.M. Reckman, S. Vasak, and M.F.P. Bierkens (2010) Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters* Vol. 37:L20402.
29. Sayana, V.B.M., E. Arunbabu, L. Mahesh Kumar, S. Ravichandran and K. Karunakaran (2010) Groundwater responses to artificial recharge of rainwater in Chennai, India: a case study in an educational institution campus. *Indian Journal of Science and Technology* Vol. 3:124-130.
30. Asano, T. and J. Cotruvo (2004) Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. *Water Research* Vol. 38:1941–1951.

31. Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen y I.A. Shiklomanov (2007) Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.
32. Yang, H., and Jia, S.F. (2005) Industrial Water Use Kuznets Curve: Evidence from Industrialized Countries and Implications for Developing Countries. http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/yang_h.pdf
33. Anisfield, S.C. (2010) Water Resources (Foundations of Contemporary Environmental Studies Series). IslandPress. Washington, DC.
34. Fearnside, P.M. (2000) Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's tucuruí dam) and the energy policy implications. Water, Air and Soil Pollution. Vol. 133:69-96.
35. WCD (2000) Dams and development. World Commission on Dams. Earthscan. London. <http://www.dams.org/report/>. Fecha de Acceso: Enero 31 2011.
36. UNEP (2007) Dams and Development Relevant practices for improved decision-making. United Nations Environmental Programme. Nairobi. <http://www.unep.org/dams/files/compendium/compendium.pdf>. Fecha de Acceso: Enero 31 2011.
37. ADB (2005) Dams and Development A source of information, guidance, and weblinks related to planning and implementation of dam projects. Asian Development Bank. <http://www.adb.org/water/topics/dams/default.asp> . Fecha de Acceso: Enero 31 2011.
38. International Conference on Water and the Environment (1992) The Dublin Statement on Water and Sustainable Development. Adopted January 31, 1992 in Dublin, Ireland. International Conference on Water and the Environment. <http://www.un-documents.net/h2o-dub.htm>. Fecha de acceso: Enero 25 2011.
39. Chong, H. and D. Sunding (2006) Water Markets and Trading. Annual Review of Environment and Resources. Vol. 31:239-264.
40. Brookshire,D.S., B. Colby,M. Ewers and P.T.Ganderton (2004) Market prices for water in the semiarid west of the United States. Water Resour. Res. Vol. 40:W09S04.
41. Bauer, C. (2004) Results of Chilean water markets: empirical research since 1990. Water Resour. Res. Vol.40:W09S06.
42. Bjornlund,H. (2004) Formal and informal water markets: drivers of sustainable rural communities? Water Resour. Res., Vol. 40:W09S07.
43. Adler, J.H. (2008) Warming Up to Water Markets, Regulation Vol. 31, Winter 2008-2009. Pp. 14-17. <http://www.cato.org/pubs/regulation/regv31n4/v31n4-3.pdf>. Fecha de acceso: 5 February 2011.
44. Adler, J.H. (2009) Water Marketing As an Adaptive Response To The Threat Of Climate Change. Hamline LawReview. Vol. 31:730-754.
45. van der Keur P, Henriksen HJ, Refsgaard J-C, Brugnach M, Pahl-Wostl C, Dewulf A, Buiteveld H (2008) Identification of major sources of uncertainty in current IWRM practice. Ilustrado para el Rhine Basin. Water Resour. Management Vol. 22:1677–1708
46. Mehtonen K., Keskinen M. and Varis O. (2008b), The Mekong: IWRM and Institutions, En: Varis O., TortajadaC. and Biswas A.K. (eds.), Management of Transboundary Rivers and Lakes, Springer, Berlin, pp: 207-226.
47. UNESCO, Institute for Water Education (2010) IWRM as a Tool for Adaptation to Climate Change. http://www.cap-net.org/sites/cap-net.org/files/CC%20IWRM%20_English%20manual_.pdf. Fecha de acceso: Enero 25 2011.

48. Cap-Net (2010) IWRM a Tool for Adaptation to Climate Change. Sitio web con vínculos a Manual de Capacitación y materials de Power Point en inglés, castellano, francés y portugués. <http://www.cap-net.org/node/1628>. Fecha de acceso: Enero 25 2011.
49. Gleick, P.H. and H.S. Cooley (2009) Energy implications of bottled water. *Environ. Res. Lett.* Vol. 4:014009. doi:10.1088/1748-9326/4/1/014009
50. IPCC (2007) Annex I: Glossary. *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
51. IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
52. Pielke, R.A. Jr, Prins, G., Rayne,r S., y Sarewitz, D.. (2007) Lifting the taboo on adaptation. *Nature* 445:597–98
53. UNFCCC (2002) The Delhi Ministerial Declaration on Climate Change and Sustainable Development.
54. IPCC (2007) Annex I: Glossary. *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
55. Hutton, G. and L. Haller (2004) Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at the global level. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. http://www.who.int/water_sanitation_health/wsh0404/en/
56. WHO and DFID (2010) Vision 2030: The Resilience of Water Supply and Sanitation in the Face of Climate Change: Summary and Policy Implications. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/vision_2030_summary_policy_implications.pdf
57. Moss, S. (2003) “Re-evaluating emergency water supply in complex droughts in Africa”. En Towards the Millennium Development Goals. 29th WEDC Conference Proceedings. http://wecd.lboro.ac.uk/knowledge/conference_papers.html?cid=29
58. WaterAid (2006) “Technology notes.” London. http://www.wateraid.org/documents/plugin_documents/technology_notes_2008.pdf
59. WaterAid—Bangladesh (2006) “Step by step implementation guide for tubewells.” Dhaka. http://www.wateraid.org/documents/plugin_documents/060721_tubewell_guidelines.pdf
60. Sonou, M. (1997) “Low-cost shallow tube well construction in West Africa.” UN FAO Corporate Document Repository. New York. <http://www.fao.org/docrep/w7314e/w7314e0v.htm>
61. Barker, R.D., White, C.C., y Houston, J.F.T. (1992) Borehole siting in an African accelerated drought relief project. In “*Hydrogeology of Crystalline Basement Aquifers in Africa*”. Ed. Wright, E.P. and Burgess, W.G. Pp.183-201.
62. Burdon, D.J. (1985) Groundwater against drought in Africa. In *Hydrogeology in the Service of Man, Mémoires of the 18th Congress of the International Association of Hydrogeologists*. Cambridge. http://iahs.info/redbooks/a154/iahs_154_02_0076.pdf. Fecha de acceso: Noviembre 11, 2010.
63. Calow, R.C., MacDonald, A.M., Nicol, A.L., and Robins, N.S. (2009) Ground Water Security and Drought inAfrica: Linking Availability, Access, and Demand. *Groundwater* Vol. 48:246-256.
64. WHO and DFID (2010) Vision 2030. Resilience of water and sanitation technology: Technical Report.
65. IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
66. Calow, R.C., Robins, N.S., Macdonald, A.M., Macdonald, D.M.J., Gibbs, B.R., Orpen, W.R.G., Mtembezeka, P., Andrews, A.J., y Appiah, S.O. (1997) Groundwater management in drought prone areas of Africa. *WaterResources Development* Vol. 13:241-261.
67. US National Drought Mitigation Center (2006) “What is Drought?: Understanding and Defining Drought” <http://www.drought.unl.edu/whatis/concept.htm>
68. Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J. y Lammers, R.B. (2000) “Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth” *Science*. Vol. 289:284-288.
69. Gleick, P.H. (2002) “The world’s water, 2002-2003: the biennial report on freshwater resources.” Island Press.Washington.

70. Carter, R. (2006) Ten-step Guide Towards Cost-effective Boreholes: Case study of drilling costs in Ethiopia. World Bank Water and Sanitation Program. <http://www.rwsn.ch/documentation/skatdocumentation>. 2007-06-04.3136351385/file
71. MacDonald, A.M., Davies, J. and Dochartaigh, B.É.Ó. (2002) Simple methods for assessing groundwater resources in low permeability areas of Africa Groundwater systems and water quality. British Geological Survey y DFID. Commissioned Report CR/01/168N. Part 1: http://www-esd.worldbank.org/esd/ard/groundwater/pdfreports/Simple_%20methods_African_lowperm_areas_Pt1.pdf and Part 2: http://www-esd.worldbank.org/esd/ard/groundwater/pdfreports/Simple_%20methods_African_lowperm_areas_Pt2.pdf
72. Barker, R.D., White, C.C., and Houston, C.F.T. (1992) Borehole siting in an African accelerated drought relief project. In Wright, E.P. and Burgess, W.G. Eds. Hydrogeology of Crystalline Basement Aquifers in Africa. Pp.183-201.
73. Welle, K. (2005) WaterAid learning for advocacy and good practice. WaterAid water point mapping in Malawi and Tanzania. WaterAid. London. http://www.wateraid.org/documents/plugin_documents/malawi_tanzania.pdf
74. Doyen, J. (2003) A Comparative Study on Water Well Drilling Costs in Kenya. Rural Water Supply Network. St. Gallen, Suiza. <http://www.rwsn.ch/documentation/skatdocumentation>. 2008-08-25.3202857121/file
75. Carter, R., Horecha, D., Etsegenet, B., Belete, E., Defere, E., Negussie, Y., Muluneh, B., y Danert, K. (2006) Drilling for Water in Ethiopia: a Country Case Study by the Cost-Effective Boreholes Flagship of the Rural WaterSupply Network. Federal Democratic Republic of Ethiopia/World Bank WSP/RWSN. <http://www.rwsn.ch/documentation/skatdocumentation>. 2006-08-09.6396873528/file
76. UN FAO (2004) Drought impact mitigation and prevention in the Limpopo River Basin: A situation analysis. UN Food and Agriculture Organization. Rome. ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/lwdp4_e.pdf
77. Fendorf, S., Michael, H.A. y van Geen, A. (2010) "Spatial and Temporal Variations of Groundwater Arsenic in South and Southeast Asia" Science. Vol. 328 (5982):1123–1127.
78. Feenstra, L., Vasak, L. y Griffioen, J. (2007) "Fluoride in groundwater: Overview and evaluation of removal methods." International Groundwater Resources Assessment Centre. Utrecht.
79. Petrushevski, B., Sharma, S., Schippers, J.C. y Shordt, K. (2006) "Arsenic in Drinking Water." IRC International Water and Sanitation Centre. Delft. www.irc.nl/content/download/29654/.../TOP17_Arsenic_07.pdf
80. World Bank (2005) "Towards a More Effective Operational Response: Arsenic Contamination of Groundwater in South and East Asian Countries." http://siteresources.worldbank.org/INTSAREGTOPWATRES/Resources/ArsenicVoll_WholeReport.pdf
81. Qian, J. (1999) "Fluoride in water: An overview." En UNICEF WATERfront. Vol. 13:11-13.
82. Wurzel, P. (2001) Drilling Boreholes for Handpumps. Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management. St. Gallen, Switzerland. http://www.watersanitationhygiene.org/References/EH_KEY_REFERENCES/WATER/Drilling/Drilling%20General%20Reference/Drilling%20Boreholes%20for%20Handpumps%20%28SKAT%29.pdf
83. US Geological Survey (2010) Earth's water distribution. <http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html>. Fecha de acceso: Noviembre 5, 2010.
84. WHO (2007) Desalination for Safe Water Supply: Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination. Rolling Revision. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. http://www.who.int/water_sanitation_health/gdwqrevision/desalination.pdf. Fecha de acceso: Noviembre 5, 2010.
85. Khawaji, A.D., Kutubkhanah, I.K. and Wie, J.M. (2008) Advances in seawater desalination technologies Desalination Vol. 221:47–69.
86. Gleick, P.H., Cooley, H., and Wolff, G. (2006) With a Grain of Salt: An Update on Seawater Desalination. En "TheWorld's Water: 2006-2007." Ed. by P.H. Gleick. Island Press. Washington, DC.

87. Filters Fast LLC (2005) "A simple guide to water filtration." <http://www.filtersfast.com/A-Simple-Guide-to-Water-Purification.asp>. Fecha de acceso: 2 February 2011.
88. Hydrolink (2011) "What is Reverse Osmosis?" <http://www.hydrolink.com.pk/osmosis.html> . Fecha de acceso: 2 February 2011.
89. Foundation for Water Research (2006) Review of Current Knowledge: Desalination for Water Supply. Marlow, United Kingdom. <http://www.fwr.org/desal.pdf>. Fecha de acceso: Noviembre 5, 2010.
90. Miller, J.E. (2003) Review of Water Resources and Desalination Technologies. Sandia National Laboratories. SAND 2003-0800. Albuquerque, USA. http://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-500-desalination-and-water-purification-spring-2009/readings/MIT2_500s09_read19.pdf. Fecha de acceso: Noviembre 5, 2010.
91. Greenlee, L.F., Lawler, D.F., Freeman, B.D., Marrot, B., and Moulin, P. (2009) Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research* Vol. 43 (9):2317-2348.
92. Boyson, J.E., Harju, J.A., Rousseau, C., Solc, J., y Stepan, D.J. (1999) Evaluation of the Natural Freeze-Thaw Process for the Desalinization of Groundwater from the North Dakota Aquifer to Provide Water for GrandForks, North Dakota. U.S. Bureau of Reclamation Water Treatment Technology Program Report No. 23. <http://www.usbr.gov/pmts/water/publications/reports.html>. Fecha de acceso: Noviembre 5, 2010.
93. Ludwig, H. (2004) Hybrid systems in seawater desalination- practical design aspects, present status and development perspectives. *Desalination* Vol. 164:1-18.
94. Hamed, O.A. (2005) Overview of hybrid desalination systems — current status and future prospects. *Desalination* Vol. 186:207-214.
95. Holt, J.K., Park, G.H., Wang, Y., Stadermann, M., Artyukhin, A.B., Grigoropoulos, C.P., Noy, A., and Bakajin,O. (2006) Fast Mass Transport through Sub-2-Nanometer Carbon Nanotubes. *Science* Vol. 312:1034-1037.
96. Lawrence Livermore National Laboratory (2006) Press Release: Nanotube membranes offer possibility of cheaper desalination. <https://www.llnl.gov/news/newsreleases/2006/NR-06-05-06.html>. Fecha de acceso: Noviembre 5, 2010.
97. Sandia National Laboratories (2010) Membrane Technologies. <http://www.sandia.gov/water/desal/researchdev/membrane-tech.html>. Fecha de acceso: Noviembre 5, 2010
98. Gliootti, A., Relini, A., and Chong, P.G. (2002) Structure and permeability properties of biomimetic membranes of bolaform archaeal tetraether lipids. *Journal of Membrane Science*. Vol. 206:131-147.
99. World Bank (2005) Trends in the Desalination Market in the Middle East and Central Asia (Project #012). Bank-Netherlands Water Project. <http://siteresources.worldbank.org/INTWSS/Resources/Activity12.pdf>. Fecha de acceso: Noviembre 9, 2010.
100. DHV Water BV, the Netherlands, and BRL Ingénierie (2004) Seawater and Brackish Water Desalination in the Middle East, North Africa and Central Asia: A Review of Key issues and Experience in Six Countries. Informe para el Banco Mundial. http://siteresources.worldbank.org/INTWSS/Resources/Desal_mainreport-Final2.pdf. Fecha de acceso: Noviembre 9, 2010.
101. Karagiannis, I.C. and Soldatos, P.G. (2008) Water desalination cost literature: review and assessment. *Desalination* Vol. 223:448-456.
102. Gassan, C. (2007) Let's Go for Green Desal. International Desalination Association IDA News. July/August2007. http://www.idadesal.org/PDF/2007_4-julyaug.pdf. Fecha de acceso: Noviembre 9, 2010.
103. Texas Water Development Board (2004) Volume 2: Technical Papers, Case Studies, and Desalination Technology Resources. <http://www.twdb.state.tx.us/iwt/desal/docs/Volume2Main.asp>. Fecha de acceso: Noviembre 9, 2010.
104. UN (2008) Millennium Development Goals Progress Report. United Nations, New York.

105. Godfrey, S., Labhasetwar, P., Wate, S. y Pimpalkar, S. (2009) "How safe are the global water coverage figures? Case study from Madhya Pradesh, India" Environ Monit Assess DOI 10.1007/s10661-010-1604-3
106. Clasen, T. (2009) Scaling Up Household Water Treatment Among Low-Income Populations. (WHO/HSE/WSH/09.02) Organización Mundial de la Salud, Ginebra. http://whqlibdoc.who.int/hq/2009/WHO_HSE_WSH_09.02_eng.pdf.
107. Sobsey, M.D. (2002) Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply,(WHO/SDE/WSH/02.07) Organización Mundial de la Salud, Ginebra. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsh0207/en/
108. Sobsey, M.D., C.E. Stauber, L.M. Casanova, J.M. Brown & M.A. Elliott (2008) Point of Use Household Drinking Water Filtration: A Practical, Effective Solution for Providing Sustained Access to Safe Drinking Water in the Developing World. Environ Sci Technol. 42 (12):4261–4267.
109. Clasen, T., Roberts, I., Rabie, T., Schmidt, W., & Cairncross, S. (2006). Interventions to improve water quality for preventing diarrhoea. Cochrane Database Syst Rev, 3, CD004794.
110. Fewtrell, L., Kaufmann, R. B., Kay, D., Enanoria, W., Haller, L., & Colford, J. M., Jr. (2005). Water, sanitation, and hygiene interventions to reduce diarrhoea in less developed countries: a systematic review and meta-analysis. Lancet Infect Dis. 5(1), 42-52.
111. PATH (2010) Global Landscape of Household Water Treatment and Safe Storage Products. Seattle. http://www.path.org/files/TS_swp_hwts_gl.pdf
112. Clasen, T.F., Thao, do H., Boissoon, S. y Shipin, O. (2008) Microbiological Effectiveness and Cost of Boiling to Disinfect Drinking Water in Rural Vietnam. Environ. Sci. Technol. 42(12):4255-4260.
113. CDC (no date) "Safe Water Systems for the Developing World: A Handbook for Implementing Household based Water Treatment and Safe Storage Projects" http://www.cdc.gov/safewater/manual/sws_manual.pdf
114. WHO (2010) Household water treatment and safe storage. http://www.who.int/household_water/network/en/. Fecha de acceso: Octubre 29, 2010.
115. Lantagne, D. y Clasen, T. (2009) Point of Use Water Treatment in Emergency Response. London School of Hygiene and Tropical Medicine. http://www.ehproject.org/PDF/ehkm/lantagne-pou_emergencies2009.pdf
116. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (2008) Household water treatment and safe storage in emergencies A field manual for Red Cross/Red Crescent personnel and volunteers. http://www.ifrc.org/Docs/pubs/health/water/142100-HWT-en_LR.pdf
117. Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen y I.A. Shiklomanov (2007) "Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability." Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/contents.html
118. WHO and DFID (2010) "Vision 2030: The Resilience of Water Supply and Sanitation in the Face of Climate Change." http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/9789241598422_cdrom/en/index.html
119. Bonds, M.H., Keenan, D.C., Rohani, P. And Sachs, J.D., (2009) "Poverty trap formed by the ecology of infectious diseases" Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 277:1185-1192.
120. Hutton, G. and L. Haller (2004) "Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at the global level" Organización Mundial de la Salud. Ginebra. http://www.who.int/water_sanitation_health/wsh0404/en/
121. Hunter, P.R. (2009) Household Water Treatment in Developing Countries: Comparing Different Intervention Types Using Meta-Regression. Environ. Sci. Technol. 43(23):8991-8997.

122. WHO (2010) HWTS Fact sheets and tools. http://www.who.int/household_water/network/tools/en/index.html
123. Vousvouras, C.A. and Heierli (2010) Safe Water at the Base of the Pyramid. 300in6 Initiative. <http://300in6.org/wp-content/uploads/2010/02/Safe-Water-at-the-Base-of-the-Pyramid-Booklet.pdf>
124. Osborn, P. and Holstag, H. (2010) “300in6: Safe water for 300 million in 6 years. Massive scaling-up of safe water solutions” Presentation at the “Water and Health: Where Science Meets Policy” conference. Chapel Hill, USA. Octubre 26, 2010. <http://300in6.org/wp-content/uploads/2010/10/300in6-at-HWTS-241010-v5-Standard1.pdf>
125. Murcott, S. (2006) Implementation, Critical Factors and Challenges to Scale-Up of Household Drinking Water Treatment and Safe Storage Systems. <http://www.hip.watsan.net/page/1738>.
126. Kols, A. (2010) Consumer and Market Research on Household Water Treatment Products in Vietnam. PATH. Seattle. http://www.path.org/files/TS_swp_hwts_viet.pdf.
127. Harris, J. (2005) Challenges to the Commercial Viability of Point-of-Use (POU) Water Treatment Systems in Low-Income Settings. Master of Science Dissertation. Oxford University. School of Geography and the Environment. http://www.who.int/household_water/research/commercial_viability.pdf.
128. Heierli, U. (2008) Marketing safe water systems: why it is so hard to get safe water to the poor—and so profitable to sell it to the rich. Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC). Bern Switzerland. 114p. <http://www.irc.nl/page/46695>.
129. Kols, A. (2009) Supply and Demand for Household Water Treatment Products in Andhra Pradesh, Karnataka, and Maharashtra, India. PATH. Seattle. http://www.path.org/files/TS_supply_demand_hwts_india.pdf
130. POUZN Project. (2007) Best Practices in Social Marketing Safe Water Solution for Household Water Treatment: Lessons Learned from Population Services International Field Programs. The Social Marketing Plus for Diarrheal Disease Control: Point-of-Use Water Disinfection and Zinc Treatment (POUZN) Project, Abt Associates Inc., Bethesda, MD. <http://www.ehproject.org/PDF/ehkm/LessonsLearnedFinal.pdf>.
131. Gately, M. (2010) “HWTS education: a hidden success in emergency situations” Presentation at the “Water and Health: Where Science Meets Policy” conference. Chapel Hill, USA. Octubre 26, 2010.
132. USAID (2006) A Bibliography on Point-of-Use Water Disinfection. Fecha de acceso: Octubre 29, 2010. http://www.ehproject.org/PDF/ehkm/pou_bibliography2006final.pdf.
133. USAID (2010) Environmental Health Topics. Household Water Treatment. Fecha de acceso: Octubre 29, 2010. http://www.ehproject.org/eh/eh_topics.html.
134. CAWST (2010) Training material. Fecha de acceso: Octubre 29, 2010. <http://www.cawst.org/en/resources/pubs/section/6-training-materials>.
135. RDI—Cambodia (2010) Ceramic Water Filters at RDIC. Fecha de acceso: Octubre 29, 2010. <http://www.rdic.org/waterceramicfiltration.htm>
136. SODIS Safe drinking water for all (2010) Training material. Fecha de acceso: Octubre 29, 2010. http://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/index_EN.
137. CDC (2010) Safe Water System (SWS) Publications—FAQ Sheet. Fecha de acceso: Octubre 29, 2010. http://www.cdc.gov/safewater/publications_pages/pubs_faq.htm.
138. WaterAid (2006) “Technology notes”.
139. WaterAid—Bangladesh (2006) “Step by step implementation guide for tubewells.” Dhaka. http://www.wateraid.org/documents/plugin_documents/060721_tubewell_guidelines.pdf.
140. WHO (1996) Guidelines for Drinking Water Quality—2nd Edition. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. Chapter 6. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol3f.pdf.

141. Howard, G., Godfrey, S., and Boonyakarnkul, T. (2006) Sanitary completion of protection works around groundwater sources. En "Protecting Groundwater for Health" Eds. Schmool, O., Howard, G., Chilton, J. & Chorus, I. International Water Association. London. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd59/protecting/sect4-18.pdf>.
142. Misstear, B., Banks, D. and Clark, L. (2006) Water wells and boreholes. Wiley & Sons, Ltd. West Sussex, England.
143. WHO (1996) Guidelines for Drinking Water Quality—2da. edición. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. Annex 2.http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol3h.pdf.
144. IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report.
145. Smith, M. and Shaw, R. (no date) Technical Note 50: Sanitary Surveying. WEDC. Loughborogh University. Leicestershire, UK.<http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/50-sanitary-surveying.pdf>.
146. Reed, B. (2005) Minimum water quantity needed for domestic use in emergencies. WHO—Technical Notes for Emergencies Technical Note No. 9. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/envsan/minimumquantity.pdf.
147. Carter, R. (2006) Ten-step Guide Towards Cost-effective Boreholes: Case study of drilling costs in Ethiopia. World Bank Water and Sanitation Program. <http://www.rwsn.ch/documentation/skatdocumentation.2007-06-04.3136351385/file>
148. Smith, M. (2009) Lessons learned in WASH Response during Urban Flood Emergencies. Global WASHCluster. New York. http://www.humanitarianreform.org/humanitarianreform/Portals/1/cluster%20approach%20page/clusters%20pages/WASH/Urban_Floods_WASH_Lessons_Learned.pdf.
149. Mwaniki, P. (2009) Lessons learned in WASH Response during Rural Flood Emergencies. Global WASH Cluster.New York. http://www.humanitarianreform.org/humanitarianreform/Portals/1/cluster%20approach%20page/clusters%20pages/WASH/Rural_Floods_WASH_Lessons_Learned.pdf.
150. District Administration, District Bahraich, Uttar Pradesh, India. (2010) Wat-San: Bahraich Model. <http://www.recoveryplatform.org/assets/document/Bahraich%20WASH%20case%20study.pdf>
151. Jaiswal, P. (2010) Hope floats in great flood. Hindustan Times. September 23, 2010 <http://www.hindustantimes.com/Hope-floats-in-great-flood/Article1-603891.aspx>.
152. Yang, H., and Jia, S.F. (2005) Industrial Water Use Kuznets Curve: Evidence from Industrialized Countries and Implications for Developing Countries. http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/yang_h.pdf.
153. Anisfield, S.C. (2010) Water Resources (Foundations of Contemporary Environmental Studies Series). Island Press. Washington, DC.
154. Pacific Institute (2009) Fact Sheet on water Use in the United States. Oakland, USA. http://www.pacinst.org/press_center/usgs/US%20Water%20Fact%20Sheet%202005.pdf.
155. Nakagawa, N., Kawamura, A., y Amaguchi, H. (2010) Analysis of Decreasing Tendency of Domestic Water Use per Capita in Tokyo. Conference Proceedings of BALWOIS 2010 - Ohrid, Republic of Macedonia - 25, 29May 2010. http://www.balwois.com/balwois/administration/full_paper/ffp-1444.pdf.
156. Elizondo, G.M. y Lofthouse, V. (2010) Towards a Sustainable Use of Water at Home: Understanding How Much, Where and Why?. Journal of Sustainable Development. Vol. 3:3-10.
157. Willis, R.M., R.A. Stewart, K. Panuwatwanich, S. Jones and A. Kyriakides (2010) Alarming visual display monitors affecting shower end use water and energy conservation in Australian residential households. Resources, Conservation and Recycling Vol. 54:1117-1127.
158. US EPA (2002) Cases in Water Conservation: How Efficiency Programs Help Water Utilities Save Water and Avoid Costs. Document EPA-832-B-02-003. http://www.epa.gov/WaterSense/docs/utilityconservation_508.pdf.

159. Dickinson, M.-A., 2000. Water conservation in the United States: A decade of progress. En: Estevan, A., Viñuales,V. (Eds.), La Eficiencia del Agua en las Ciudades. Bakeaz y Fundacion Ecología y Desarrollo, Zaragoza, Spain.http://wwa.colorado.edu/front_range/docs/wtr_cons_dickinson.pdf-
160. US EPA (2010) Find Energy Star Products. US EPA Website. Fecha de acceso: Noviembre 22, 2010. http://www.energystar.gov/index.cfm?c=products.pr_find_es_products.
161. US EPA (2007) The WaterSense Label. Document EPA-832-F-06-019. http://www.epa.gov/WaterSense/docs/ws_label508.pdf.
162. US EPA (2008) Indoor Water Use in the United States. Document EPA-832-F-06-004. http://www.epa.gov/WaterSense/docs/ws_indoor508.pdf-
163. IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report.
164. Gleick, P.H., Cooley, H., Lee, E., Morrison, J., Palaniappan, M., Samulon, A. and Wolff, G. (2006) Table 2:Freshwater Withdrawal by Country and Sector. In “The World’s Water: 2006-2007.” Ed. by P.H. Gleick. IslandPress. Washington, DC.
165. US EPA (2010) Saving Water Saves Energy. Document EPA-832-K-08-001. <http://www.epa.gov/WaterSense/docs/drops-to-watts508.pdf>.
166. Zhou, Y. And Tol, R.S.J. (2005) Water Use in China’s Domestic, Industrial and Agricultural Sectors: An Empirical Analysis. Working paper FNU-67. University of Hamburg: Research Unit Sustainability and Global Change. https://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/WD_ZhouFNU67.pdf.
167. Gleick, P.H., Chalecki, E.L., and Wong, A. (2002) Measuring Water Well-Being: Water Indicators and Indices. In “The world’s water, 2002-2003: the biennial report on freshwater resources” Ed. Gleick, P.H. Island Press. Washington, DC.
168. Geller, E.S., Erickson, J.B., & Buttram, B.A. (1983). Attempts to promote residential water conservation with educational, behavioural and engineering strategies. Population and Environment. Vol. 6:96-112.
169. Van Vugt, M. (2001) Community Identification Moderating the Impact of Financial Incentives in a Natural Social Dilemma: Water Conservation. Pers Soc Psychol Bull. Vol. 27:1440-1449.
170. Bounds, G. (2010) Misleading Claims on ‘Green’ Labeling. The Wall Street Journal. Octubre 26, 2010. <http://online.wsj.com/article/SB10001424052702303467004575574521710082414.html>.
171. European Commission (2009) Study on Water Efficiency Standards. Reference: 070307/2008/5208889/ETU/D2. http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/Water%20efficiency%20standards_Study2009.pdf.
172. Waterwise (2010) Water used wisely, every day, everywhere: Mainstreaming water efficiency in the UK: helping to meet the challenges of climate change through wasting less water. White Paper. London. <http://www.waterwise.org.uk/images/site/Policy/final%20waterwise%20white%20paper%20june%202010.pdf>.
173. USGS (2010) Water Use in the United States. Website . Fecha de acceso: Noviembre 22, 2011. <http://water.usgs.gov/watuse/>
174. US EPA (2010) Calculate Your Water Savings. Website. Fecha de acceso: Noviembre 22, 2011. http://www.epa.gov/WaterSense/calculate_your_water_savings.html.
175. Hinrichsen, D., Robey, B. & Upadhyay, U. (1997) Solutions for a Water-Short World. Population Reports, Series M. No. 14. Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health, Population Information Program. Baltimore. <http://info.k4health.org/pr/m14/m14print.shtml>.
176. Mcintonsh, A.C. (2003) Asian Water Supplies: Reaching the Urban Poor. Asian Development Bank. Chapter 9:Non-revenue Water. http://www.adb.org/documents/books/asian_water_supplies/

177. Farley, M. (2001) Leakage management and control: A Best Practice Training Manual. Organización Mundial de la Salud.Ginebra. http://whqlibdoc.who.int/hq/2001/WHO_SDE_WSH_01.1_eng.pdf.
178. US EPA (2009) Pipe Leak Detection Technology Development. EPA/600/F-09/019 <http://www.epa.gov/awi/pdf/600f09019.pdf>.
179. Thomson, J. and Wang, L. (2009) Condition Assessment of Ferrous Water Transmission and Distribution Systems: State Of Technology Review Report. US Environmental Protection Agency Document EPA/600/R-09/055.<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/600r09055/600r09055.pdf>.
180. Maryland Department of the Environment (2002) Water Supply Program: Water Audit Guidance. Fecha de acceso: 01Diciembre 2010. http://www.mde.state.md.us/programs/Water/Water_Supply/Documents/www.mde.state.md.us/assets/document/water_cons/Water_Audit_guidance.PDF.
181. Correlje, A.F., de Graaf, R.E., Ryu, M., Schuetze, T., Tjallingii, S.P., Van de Ven, F.H.M. (2008) Every Drop Counts: Environmentally Sound Technologies for Urban and Domestic Water Use Efficiency. Delft University of Technology and UN Environmental Programme. Nairobi. http://www.unep.or.jp/letc/Publications/Water_Sanitation/EveryDropCounts/Contents/EveryDropCounts_Sourcebook_final_web.pdf.
182. Fanner, P., Sturm, R., Thornton, J., Liemberger, R., Davis, S., and Hoogerwerf, T. (2008) Leakage Management Technologies. AwwaRF Report 91180. IWA Publishing. London. <http://www.iwapublishing.com/template.cfm?name=isbn9781843398134>.
183. Pilcher, R. (2003) Leak Detection Practices and Techniques: A Practical Approach. Water21. IWA Water Loss Task Force, Diciembre 2003. pp. 44-45. www.iwapublishing.com/pdf/ACF1B18.pdf
184. Smith, L.A., K.A. Fields, A.S.C. Chen, and A.N. Tafuri (2000) Options for Leak and Break Detection and Repair of Drinking Water Systems. Battelle Press. Columbus, Ohio.
185. Hunaidi, O. (2000) Leak Detection Methods for Plastic Water Distribution Pipes. AWWA Research Foundation and NRC Canada. Fecha de acceso: 01 Diciembre 2010. <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/irc/leak-detection.html>.
186. Hunaidi, O. Chu, W.T. (1999) Acoustical characteristics of leak signals in plastic water distribution pipes. Applied Acoustics. Vol. 58:235-254. <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc42673.pdf>
187. Moe, C.L and Rheingans, R.D. (2006) Global challenges in water, sanitation and health. Journal of Water and Health. Vol. 04 Suppl.:41-57. <http://www.ipwr.org/documents/004S041.pdf>.
188. IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report.
189. US EPA (2010) Saving Water Saves Energy. Document EPA-832-K-08-001. <http://www.epa.gov/WaterSense/docs/drops-to-watts508.pdf>.
190. Zhou, Y. And Tol, R.S.J. (2005) Water Use in China's Domestic, Industrial and Agricultural Sectors: An Empirical Analysis. Working paper FNU-67. University of Hamburg: Research Unit Sustainability and Global Change. https://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/publication/working-papers/WD_ZhouFNU67.pdf.
191. Gleick, P.H., Chalecki, E.L., y Wong, A. (2002) Measuring Water Well-Being: Water Indicators and Indices. In "The world's water, 2002-2003: the biennial report on freshwater resources" Ed. Gleick, P.H. Island Press. Washington, DC.
192. Georgia Environmental Protection Division (2007) Water Leak Detection and Repair Program: EPD Guidance Document. . Fecha de acceso: 01 Diciembre 2010 http://www1.gadnr.org/cws/Documents/Leak_Detection_and_Repair.pdf
193. Mistry, P. (no date) Pressure Management To Reduce Water Demand & Leakage. Fecha de acceso: 01 Diciembre 2010. <http://www.findmoreLeaks.com/downloads/Pressure%20Management%20to%20Reduce%20Water%20Demand.pdf>.

194. Shin, E., Park, H., Park, C. and Hyun, I. (2005) A Case Study of Leakage Management in the City of Busan, Korea. Leakage 2005 - Conference Proceedings. <http://waterloss2007.com/Leakage2005.com/pdf/A%20Case%20Study%20of%20Leakage%20Management%20in%20the%20City%20of%20Busan,%20Korea.pdf>.
195. Stampolidis, A., Soupios, P., Vallianatos, F. and Tsokas, G.N. (2003) Detection of Leaks In Buried Plastic Water Distribution Pipes In Urban Places-A Case Study. 2nd International Workshop on Advanced GPR, 14-16May, 2003, Delft The Netherlands. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1207303&userType=inst>.
196. Moriarty, P. and Schouten, T. (2003) Community Water, Community Management: from system to service in rural areas. ITDG Publishing. London.
197. Whittington, D., Davis, J., Prokopy, L., Komives, K., Thorsten, R., Bakalian, A., and Wakeman, W. (2009) Howwell is the demand-driven, community management model for rural water supply systems doing? Evidence from Bolivia, Peru, and Ghana. Water Policy Vol. 11:696-718.
198. Bakalian, A. and Wakeman, W. (Eds.) (2009) Post-Construction Support and Sustainability in Community-Managed Rural Water Supply: Case Studies in Peru, Bolivia, and Ghana. World Bank—Netherlands Water Partnership. http://www-wds.worldbank.org/external/default/main?pagePK=64193027&piPK=64187937&theSitePK=523679&menuPK=64187510&searchMenuPK=64187511&cid=3001&entityID=000333037_20090603002655
199. Davis, J., Lukacs, H., Jeuland, M., Alvestegui, A., Soto, B., Lizarraga, B., Bakalian, A., y Wakeman, W. (2008) "Sustaining the benefits of rural water supply investments: Experience from Cochabamba and Chuquisaca, Bolivia." Water Resources Research. Vol. 44:W12427.
200. WaterAid (2001) Looking back: The long-term impacts of water and sanitation projects. London. <http://www.wateraid.org/documents/lookingback.pdf>.
201. Lockwood, H. (2002) "Institutional Support for Community-managed Rural Water Supply and Sanitation Systems in Latin America." Strategic Report 6, Environmental Health Project, Office of Health, Infectious Diseases and Nutrition, Bureau of Global Health. United States Agency for International Development. Washington, DC: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACR786.pdf.
202. Komives, K., Davis, J., Lukacs, H. Prokopy, L., Bakalian, A. Wakeman, W., Thorsten, R., y Whittington, D. (2009) The Effect of Post-Construction Support on the Sustainability of Rural Water Systems. Presentation slides available at World Bank website. http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/46021221213366294492/5106220-1213649450319/3.5.1_The_Effect_of_Post_Construction_Support_on_the_Sustainability_of_Rural_Water_Systems.pdf.
203. Bartram, J. (1999) Effective monitoring of small drinking water supplies. In Providing Safe Drinking Water in Small Systems. Eds. J.A. Cotruvo, G.F. Craun y N. Hearne. Lewis Publishers. Washington, DC. pp.353- 365.
204. Holden, R.M.L. (1999) Circuit rider training program in first nation communities. In Providing Safe Drinking Water in Small Systems. Eds. J.A. Cotruvo, G.F. Craun y N. Hearne. Lewis Publishers. Washington, DC. pp.513- 521.
205. Howard, G., Godfrey, S., and Boonyakarnkul, T. (2006) Sanitary completion of protection works around groundwater sources. In "Protecting Groundwater for Health" Eds. Schmool, O., Howard, G., Chilton, J. &Chorus, I. International Water Association. London. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd59/protecting/sect4-18.pdf>
206. WHO/UNICEF (2010). Progress on sanitation and drinking-water: 2010 update. Ginebra, World Health Organization; New York, WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. <http://www.wssinfo.org/>
207. WHO and DFID (2010) "Vision 2030: The Resilience of Water Supply and Sanitation in the Face of Climate Change." Organización Mundial de la Salud. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/9789241598422/en/index.html

208. Fragano, F., Linares, C., Lockwood, H., Rivera, D., Trevett, A., y Yepes, G. (2001) Case Studies on Decentralization of Water Supply and Sanitation Services in Latin America. Ed. By F. Rosensweig. Strategic Paper 1, Environmental Health Project, Office of Health, Infectious Diseases and Nutrition, Bureau of Global Health. United States Agency for International Development. Washington, DC. http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnack672.pdf
209. Pacey, A. y Cullis, A. (1986) Rainwater Harvesting: The collection of rainfall and runoff in rural areas. Intermediate Technology Publications. London.
210. Liebe, J., Andreini, M., Van De Giesen, N., and Steenhuis, T. (2007) The Small Reservoirs Project: Research to Improve Water Availability and Economic Development in Rural Semi-arid Areas, En: Kittisou, M., M. Ndulo,M. Nagel, and M. Grieco (eds). The Hydropolitics of Africa:A Contemporary Challenge. Cambridge Scholars Publishing, 2007. <http://smallreservoirs.org/full/publications/reports/Q12-TUD-SRP-Hydropolitics-07.pdf>.
211. Critchley, W. And Siegert, K. (1991) A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. <http://www.fao.org/docrep/u3160e/u3160e07.htm>.
212. Liebe, J., Van De Giesen, N. and Andreini, M. (2005) Estimation of small reservoir storage capacities in a semiarid environment: A case study in the Upper East Region of Ghana. Physics and Chemistry of the Earth Vol.30:448-454.
213. Udawattage, U.D.S. (1985) The Development of Micro-Catchments In Sri Lanka. Journal of Hydrology. Vol.80:351-359.
214. Stiefel, J.M., Melesse, A.M., McClain, M.E., Price, R.M., Anderson, E.P., and Chauhan, N.K. (2009) Effects of rainwater-harvesting-induced artificial recharge on the groundwater of wells in Rajasthan, India. Hydrogeology Journal Vol. 17: 2061–2073.
215. Sayana, V.B.M., Arunbabu, E., Mahesh Kumar, L., Ravichandran, S., and Karunakaran, K. (2010) Groundwaterresponses to artificial recharge of rainwater in Chennai, India: a case study in an educational institution campus. Indian Journal of Science and Technology. Vol. 3:124-130.216. WaterAid (2006) “Technology notes”
217. Foster, S. and Tuinof, A. (2004) Brazil, Kenya: Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in BasementTerrain for Human Subsistence. The World Bank. GW-MATE Case Profile Collection. Washington, DC. http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1210186345144/GWMATE_English_CP_05.pdf.
218. Cobbina, S.J., Anyidoho, L.Y., Nyame, F. And Hodgson, I.O.A. (2010) Water quality status of dugouts fromfive districts in Northern Ghana: implications for sustainable water resources management in a water stressedtropical savannah environment. Environ Monit Assess. Vol. 167:405-416.
219. IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report.
220. Nicholls, N. and Wong, K.K. (1990) “Dependence of Rainfall Variability on Mean Rainfall, Latitude, and the Southern Oscillation.” Journal of Climate. Vol. 3:163-170.
221. Gleick, P.H. (2002) “The world’s water, 2002-2003: the biennial report on freshwater resources.” Island Press.Washington.
222. Rockstrom, J., Barron, J. and Fox, P. (2002) Rainwater management for increased productivity among small holderfarmers in drought prone environments. Physics and Chemistry of the Earth. Vol. 27:949-959.
223. Ngigi, S.N. (2003) What is the limit of up-scaling rainwater harvesting in a river basin? Physics and Chemistryof the Earth. Vol. 28:943-956.

224. Munamati, M., Senzanje, A., Sawunyama, T., Mhizha, A., Rodrigues, L.N., Weschenfelder, R., Passo, D.P., da Silva, A. N. (2010) Small Reservoir Capacity Estimation. Fecha de acceso: 29 Noviembre 2010. http://www.smallreservoirs.org/full/toolkit/docs/Ila%2003%20Reservoirs%20capacity%20estimation_NMA.pdf
225. Munamati, M. and Senzanje, A. (2007) Dimensions of stakeholder interactions in small reservoir development and management in Zimbabwe. Paper presented at the 8th Waternet/ Warfsa/ GWP Symposium, Lusaka, Octubre 31st—2nd Noviembre 2007. <http://bscw.ihe.nl/pub/bscw.cgi/d2607306/Senzanje-Munamati.pdf>.
226. Gupta, R. (2006) Tamil Nadu's tank rehab scheme does not hold water. Published 3 June 2006. . Fecha de acceso: 30Noviembre 2010. http://www.worldproutassembly.org/archives/2006/06/tamil_nadus_tan.html.
227. Whittington, D., Davis, J., Prokopy, L., Komives, K., Thorsten, R., Bakalian, A., y Wakeman, W. (2009) How well is the demand-driven, community management model for rural water supply systems doing? Evidence from Bolivia, Peru, and Ghana. Water Policy Vol. 11:696-718.
228. Alsdorf, D.E., Melack, J.M., Dunne, T., Mertes, L.A., Hess, L.L. and Smith, L.C. (2000) Interferometric radar measurements of water level changes on the Amazon flood plain. Nature. Vol. 404:174-177.
229. Alsdorf, D.E. y Lettenmaier, D.P. (2003) Tracking Fresh Water from Space. Science. Vol. 301:1491-1493.
230. van de Giesen, N., Kunstmann, H., Jung, G., Liebe, J., Andreini, M., Vlek, P.L.G., (2002) The GLOWA-Volta project: integrated assessment of feedback mechanisms between climate, land use, and hydrology. Adv. Global Change Res. Vol. 10:151–170.
231. UN-HABITAT (2005) “Rainwater Harvesting and Utilisation. Blue Drop Series Book 3: Project Managers &Implementing Agencies” Nairobi.
232. Thomas, T. (2003) “Domestic Roofwater Harvesting In the Tropics: The State Of The Art” XI IRCSA Conference Proceedings. http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/dtu/pubs/reviewed/rwh/tht_ircsa_2003/thomas.pdf.
233. Thomas, T. (2002) “Domestic Water Supply using Runoff from the Roofs of Institutional Buildings” University of Warwick—Development Technology Unit. <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/dtu/pubs/rn/rwh/rnrwh05/rn-rwh05.pdf>
234. Martinson, D.B. and Thomas, T. (2005) Quantifying the first flush phenomenon. En: 12th International Rainwater Catchment Systems Conference, Nov 2005, New Delhi, India.
235. Thomas, T.H. and Martinson, D.B. (2007) “Roofwater Harvesting: A Handbook for Practitioners” IRC International Water and Sanitation Centre. Technical Paper Series; no. 49. Delft, The Netherlands Available from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/Roofwater/content.pdf>
236. Sayana, V.B.M., E. Arunbabu, L. Mahesh Kumar, S. Ravichandran and K. Karunakaran (2010) Groundwater responses to artificial recharge of rainwater in Chennai, India: a case study in an educational institution campus. Indian Journal of Science and Technology Vol. 3:124-130.
237. WHO and DFID (2010) “Vision 2030: The Resilience of Water Supply and Sanitation in the Face of Climate Change.” http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/9789241598422_cdrom/en/index.html238. Cole, M.A. (2004) “Economic growth and water use” Applied Economics Letters. Vol. 11:1-4.239. Gleick, P. (2000) “A Look at Twenty-first Century Water Resources Development” Water International. Vol.25(1):127-138.
240. UNEP (2004) “Freshwater in Europe - Facts, Figures and Maps” Rome. http://www.grid.unep.ch/product/publication/freshwater_europe.php.
241. Gleick, P.H. (2002) “The world's water, 2002-2003: the biennial report on freshwater resources.” Island Press. Washington.
242. United Nations Environmental Programme-DTIE-EITC/ Sumida City Government/People for Promoting Rainwater Utilisation. (2002) “Rainwater Harvesting and Utilisation An Environmentally Sound Approach for

- Sustainable Urban Water Management: An Introductory Guide for Decision-Makers" <http://www.unep.or.jp/ietc/publications/urban/urbanenv-2/index.asp>
243. Waterfall, P.H. (2006) "Harvesting Rainwater for Landscape Use" Second Edition. University of Arizona <http://cals.arizona.edu/pubs/water/az1344.pdf>.
244. International Association of Plumbing and Mechanical Officials (2010) "California Plumbing Code" <http://www.iapmo.org/Pages/californiaplumbingcode.aspx>.
245. Nolde, E. (no date) Regulatory framework and standards for rainwater harvesting and grey water recycling. Germany. Fecha de acceso: Octubre 15, 2010. <http://www.medawater-rmsu.org/archive/projects/ZERO-M%20project/reports/15%20Water%20regulations/Standards%20and%20Regulatory%20Framework.pdf>.
246. University of Warwick Development Technology Unit (2010) Rainwater Harvesting. Warwick, UK. <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/dtu/pubs/rwh/>
247. University of Warwick Development Technology Unit (2010) Rainwater Harvesting Case Studies. Warwick, UK <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/dtu/pubs/rn/rwh/cs01/>
248. Vishwanath, S. (no date) "Rainwater Harvesting in an Urban Context: Case Study of Bangalore City, India". Fecha de acceso: on Oct. 15, 2010: <http://www.rainwater-toolkit.net/fileadmin/rwh-material/documents/VISH.pdf>
249. Haarhoff, J. and Van der Merwe, B. (1996). Twenty-five years of wastewater reclamation in Windhoek, Namibia. *Water Sci. Technol.* 33(10-11):25-35.
250. UNEP and Global Environment Centre Foundation (GEC). (2004). Water and Wastewater Reuse: An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management. Disponible en línea en: http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=3596.
251. Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuehihashi, R. and Tchobanoglous, G. (2007). "Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications." McGraw Hill. New York.
252. US EPA (2004) "Water Reuse Guidelines." EPA/625/R-04/108. Washington. Disponible en línea en: <http://www.epa.gov/ord/NRMRL/pubs/625r04108/625r04108.htm>
253. Organización Mundial de la Salud (WHO). (2006). "Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Grey Water, volume 2: Wastewater Use in Agriculture." Ginebra, Suiza. http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546832_eng.pdf. Fecha de acceso: 3 February 2011.
254. Jimenez, B. and Asano, T. (2008). "Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs." IWA Publishing. Ginebra, Switzerland.
255. Okun, D. (2000). Water Reclamation and Unrestricted Non potable Reuse: A New Tool in Urban Water Management. *Annu. Rev. Public Health.* 21:223-45.
256. Anderson, J. (2003). The environmental benefits of water recycling and reuse. *Water Science and Technology: Water Supply.* 3(4):1-10.
257. IPCC (2007) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, Martin L., Canziani, Osvaldo F., Palutikof, Jean P., van der Linden, Paul J., and Hanson, Clair E. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1000 pp. Cited in US EPA (2007).
258. US Environmental Protection Agency (US EPA) (1998), Water Recycling and Reuse: The Environmental Benefits, EPA909-F-98-001, Washington, D.C., USA.
259. Takizawa, S. (2001). Water reuse by a natural filtration system in a Vietnamese rural community. *Water Lines.* 19:2-5.
260. Kurian J., and C. Visvanathan. (2001). Sewage Reclamation Meets Industrial Water Demands in Chennai. *Water Lines.* 19(4):6-9.

261. United Nations Environment Programme (UNEP). (2002). Capacity Building for Sustainable Development: An Overview of UNEP Environmental Capacity Development Activities. Division of Environmental PolicyImplementation (DEPI). Kenya.
262. Po, M., Kaercher, J., and Nancarrow, B. (2003). Literature Review of Factors Influencing Public Perceptionsof Water Reuse. Australian Commonwealth Scientific and Research Organization (CSIRO). Technical Report 54/03. Disponible en línea en: <http://www.clw.csiro.au/publications/technical2003/tr54-03.pdf>.
263. United Nations Environmental Programme (UNEP). (1996). Life Cycle Assessment: What It Is and How to Do It. Division of Technology, Industry and Economics (DTIE). Paris.
264. Yamagata, H., Ogoshi, M., Suzuki, Y., Ozaki, M., and Asano, T. (2003) On-site Water Recycling Systems in Japan. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(3):149-154.
265. Pahl-Wostl, C., Downing, T., Kabat, P., Magnuszewski, P., Meigh, J., Schuter, M., Sendzimir, J., Werners, S. (2005). Transition to adaptive water management: The NeWater project. Osnabrück, Germany, Institute of Environmental Systems Research, University of Osnabrück. pp 19. (NeWater Working Paper 1, New approaches to adaptive water management under uncertainty). Disponible en línea en: <http://nora.nerc.ac.uk/1018/>
266. National Research Council. 1994. Groundwater Recharge: Using Waters of Impaired Quality. Washington, DC: Natl. Acad. Press. pp. 283.
267. National Research Council. 1996. Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production. Washington, DC: Natl. Acad. Press. pp. 178.
268. National Research Council. 1998. Issues in Potable Reuse: the Viability of Augmenting Drinking Water Supplies with Reclaimed Water. Washington, DC: Natl. Acad. Press. pp. 263.269. Mantovani, P., Asano, T., Chang, A. and Okun, D.A. 2001. "Management Practices for Nonpotable WaterReuse." WERF, Project Report 97-IRM-6, ISBN: 1-893664-15-5.
270. Organización Mundial de la Salud (WHO). (2008). Guidelines for drinking-water quality. Third Ed. Ginebra, Suiza: WHO. Disponible en línea en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/. Fecha de acceso: 28 Noviembre 2010.
271. Godfrey, S. and G. Howard. (2004). Water Safety Plans for Urban Piped Water Supplies in Developing Countries. WEDC, Loughborough University, UK. Disponible en línea en <http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/CasosEstudiosPSA/WSPDevelopingCountries.pdf>. Fecha de acceso: 29 Noviembre 2010.
272. Water Safety Plans. (2010) U.S. Center for Disease Control and Prevention. Disponible en línea en <http://www.cdc.gov/nceh/ehs/gwash/wsp.htm>. Fecha de acceso: 26 Noviembre 2010.
273. Davison, A., G. Howard, M. Stevens, P. Callan, L. Fewtrell, D. Deere, J. Bartram. (2005). Water Safety Plans: Managing drinking-water quality from catchment to consumer. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. Disponible en línea en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsp0506/en/index.html. Fecha de acceso: 25 Noviembre 2010.
274. LeChevalier, M. and K. Au. (2004). Water Treatment and Pathogen Control: Process Efficiency in AchievingSafe Drinking Water. WHO and IWA, Ginebra. Disponible en línea en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/watreatpath.pdf>. Fecha de acceso: 28 Noviembre 2010.
275. Schmoll, O., G. Howard, I. Chorus, J. Chilton (ed). (2006). Protecting groundwater for health: a guide to managing the quality of drinking-water sources. WHO and IWA, Ginebra. Disponible en línea en http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/Biblioteca/Manuales_Guias_LibrosDW/ProteccionAgua_SubterraneaSalud/PGWsection1.pdf. Fecha de acceso: 28 Noviembre 2010.
276. Dufour, A., M. Snozzi, W. Koster, J. Bartram, E. Ronchi, L. Fewtrell (ed). (2003). Assessing microbial safety ofdrinking-water: Improving approaches and methods. WHO and IWA, Ginebra. Disponible en línea en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/who3/assess.pdf>. Fecha de acceso: 28 Noviembre 2010.

277. Sobsey, M. (2002). Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply. WHO, Ginebra. Disponible en línea en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/who/sobs.pdf>. Fecha de acceso: 28 Noviembre 2010.
278. Ainsworth, R (ed). (2004). Safe Piped Water: Managing Microbial Water Quality in Piped Distribution Systems. WHO and IWA, Ginebra. Disponible en línea en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/safepiped.pdf>. Fecha de acceso: 28 Noviembre 2010.
279. Bartram, J., J. Cotruvo, M. Exner, C. Fricker, A. Glasmacher (ed). (2004). Heterotrophic plate counts and drinking-water safety: The significance of HPCs for water quality and human health. International Journal of Food Microbiology, 92(3):241-247.
280. Thompson, T., F. Fawell, S. Kunikane, D. Jackson, S. Appleyard, P. Callan, J. Bartram, P. Kingston (ed). (2007). Chemical safety of drinking-water: assessing priorities for risk management. WHO, Ginebra.
281. U.S. Environmental Protection Agency. (2008). Water Safety Plans for Municipal Drinking Water Systems. Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) Plan for the Source, Treatment and Distribution of Drinking Water in Canada - Guidance Document.
282. Canadian Water and Wastewater Association (2005) Canadian Guidance Document for Managing Drinking Water Systems A Risk Assessment / Risk Management Approach. Health Canada. Ottawa. Disponible en línea en http://www.cwwa.ca/pdf_files/Haccp%20report.pdf. Fecha de acceso: 26 Noviembre 2010.
283. Bartram, J., L. Corrales, A. Davison, D. Deere, D. Drury, B. Gordon, G. Howard, A. Rinehold, M. Stevens. (2009). Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers. World Health Organization. Ginebra. Disponible en línea en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/WSP/index.html. Fecha de acceso: 26 Noviembre 2010.
284. IPCC (2007) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.
285. Prüss, A., D. Kay, L. Fewtrell, J. Bartram. (2002). Estimating the burden of disease from water, sanitation and hygiene at a global level. Environ Health Perspect. 110(5):537–542. Disponible en línea en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1240845/>. Fecha de acceso: 29 Noviembre 2010.
286. Latin America and Caribbean Water Safety Plan Network. Pan American Health Organization (PAHO), U.S. Center for Disease Control and Prevention (CDC) and United States Environmental Protection Agency (EPA) (2010) Disponible en línea en http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/red_lac_psa/documentos tecnicos/docteceng.html. Fecha de acceso: 26 Noviembre 2010.
287. Melbourne Water (2003) Drinking Water QMS. HACCP/ISO 9001 Quality Manual. Melbourne Water, Melbourne.
288. Godfrey, S., C. Niwagaba, G. Howard, S. Tibatemwa, (2003). Water Safety Plans for Utilities in Developing Countries - A case study from Kampala, Uganda. WEDC, Loughborough University. Disponible en línea en <http://www.lboro.ac.uk/watermark/WEJX7/case-study-annexes.pdf>. Fecha de acceso: Enero 12 2011.289. WSPortal. Organización Mundial de la Salud and International Water Association. Disponible en línea en <http://www.who.int/wsportal/en/>. Fecha de acceso: 25 Noviembre 2010.
290. Calow, R.C., Robins, N.S., Macdonald, A.M., Macdonald, D.M.J., Gibbs, B.R., Orpen, W.R.G., Mtembezeka,P., Andrews, A.J., y Appiah, S.O. (1997) Groundwater management in drought prone areas of Africa. Water Resources Development Vol. 13:241-261.
291. Moss, S. (2003) "Re-evaluating emergency water supply in complex droughts in Africa" Towards the Millennium Development Goals. 29th WEDC Conference Proceedings. http://wedc.lboro.ac.uk/knowledge/conference_papers.html?cid=29.
292. Welle, K. (2005) WaterAid learning for advocacy and good practice. WaterAid water point mapping in Malawi and Tanzania. WaterAid. London. http://www.wateraid.org/documents/plugin_documents/malawi_tanzania.pdf

293. Karagiannis, I.C. and Soldatos, P.G. (2008) Water desalination cost literature: review and assessment. Desalination Vol. 223:448-456.
294. World Bank (2005) Trends in the Desalination Market in the Middle East and Central Asia (Project #012). Bank-Netherlands Water Project. <http://siteresources.worldbank.org/INTWSS/Resources/Activity12.pdf>. Fecha de acceso: Noviembre 9, 2010.
295. DHV Water BV, the Netherlands, and BRL Ingénierie (2004) Seawater and Brackish Water Desalination in the Middle East, North Africa and Central Asia: A Review of Key issues and Experience in Six Countries. Report for the World Bank. http://siteresources.worldbank.org/INTWSS/Resources/Desal_mainreport-Final2.pdf. Fecha de acceso: Noviembre 9, 2010.
296. RBF Consulting (2009) Camp Pendleton Sea Water Desalination Project Feasibility Study. San Diego County Water Authority. San Diego, USA. http://sdcwa.org/sites/default/files/files/vol1-desal-feasibility-dec09_final.pdf.
297. Pretner, A. y La.nnelli, M. (2002) Feasibility study and assessment of the technical, administrative and financial viability of the Voltano desalination plant (Agrigento, Sicily). Desalination. Vol. 153:313-320.
298. Lattemann, S. y Hopner, T. (2008) Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. Desalination. Vol. 220:1-15.
299. WHO (2007) Desalination for Safe Water Supply: Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination. Rolling Revision. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. http://www.who.int/water_sanitation_health/gdwqrevision/desalination.pdf. Fecha de acceso: Noviembre 5, 2010.
300. Clasen, T. (2009) Scaling Up Household Water Treatment Among Low-Income Populations. (WHO/HSE/WSH/09.02) Organización Mundial de la Salud, Ginebra. http://whqlibdoc.who.int/hq/2009/WHO_HSE_WSH_09.02_eng.pdf
301. WaterAid (2006) “Technology notes.”
302. Reed, B. (2005) Minimum water quantity needed for domestic use in emergencies. WHO—Technical Notes for Emergencies Technical Note No. 9. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/envsan/minimumquantity.pdf.
303. WHO (1996) Guidelines for Drinking Water Quality—2nd Edition. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. Annex 2.http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol3h.pdf.
304. Howard, G., Godfrey, S., y Boonyakarnkul, T. (2006) Sanitary completion of protection works around groundwater sources. In “Protecting Groundwater for Health” Eds. Schmool, O., Howard, G., Chilton, J. & Chorus, I. International Water Association. London. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd59/protecting/sect4-18.pdf>.
305. District Administration, District Bahraich, Uttar Pradesh, India. (2010) Wat-San: Bahraich Model. <http://www.recoveryplatform.org/assets/document/Bahraich%20WASH%20case%20study.pdf>.
306. Nakagawa, N., Kawamura, A., y Amaguchi, H. (2010) Analysis of Decreasing Tendency of Domestic Water Use per Capita in Tokyo. Conference Proceedings of BALWOIS 2010 - Ohrid, Republic of Macedonia - 25, 29 May 2010. http://www.balwois.com/balwois/administration/full_paper/ffp-1444.pdf.
307. US EPA (2002) Cases in Water Conservation: How Efficiency Programs Help Water Utilities Save Water and Avoid Costs. Document EPA-832-B-02-003. http://www.epa.gov/WaterSense/docs/utilityconservation_508.pdf.
308. European Commission (2009) Study on Water Efficiency Standards. Reference: 070307/2008/5208889/ETU/D2. http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/Water%20efficiency%20standards_Study2009.pdf.
309. US EPA (2010) How a Product Earns the ENERGY STAR Label. US EPA Website. Fecha de acceso: January 8, 2011. http://www.energystar.gov/index.cfm?c=products.pr_how_earn
310. Farley, M. (2001) Leakage management and control: A Best Practice Training Manual. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. http://whqlibdoc.who.int/hq/2001/WHO_SDE_WSH_01.1_eng.pdf.

311. US EPA (2009) Pipe Leak Detection Technology Development. EPA/600/F-09/019 <http://www.epa.gov/awi/pdf/600f09019.pdf>.
312. Maryland Department of the Environment (2002) Water Supply Program: Water Audit Guidance. Fecha de acceso: 01 Diciembre 2010. http://www.mde.state.md.us/programs/Water/Water_Supply/Documents/www.mde.state.md.us/assets/document/water_cons/Water_Audit_guidance.PDF.
313. CLA-VAL (2008) Pressure management solutions. Harper International. Newport Beach, CA, USA. http://www.solutionsbyharper.com/uploads/B-Pressure_Management_Solutions.pdf.
314. Correlje, A.F., de Graaf, R.E., Ryu, M., Schuetze, T., Tjallingii, S.P., Van de Ven, F.H.M. (2008) Every Drop Counts: Environmentally Sound Technologies for Urban and Domestic Water Use Efficiency. Delft University of Technology and UN Environmental Programme. Nairobi. http://www.unep.or.jp/letc/Publications/Water_Sanitation/EveryDropCounts/Contents/EveryDropCounts_Sourcebook_final_web.pdf.
315. Lockwood, H. (2002) "Institutional Support for Community-managed Rural Water Supply and Sanitation Systems in Latin America." Strategic Report 6, Environmental Health Project, Office of Health, Infectious Diseases and Nutrition, Bureau of Global Health. United States Agency for International Development. Washington, DC: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACR786.pdf.
316. Pacey, A. y Cullis, A. (1986) Rainwater Harvesting: The collection of rainfall and runoff in rural areas. Intermediate Technology Publications. London.
317. Liebe, J., Andreini, M., Van De Giesen, N., and Steenhuis, T. (2007) The Small Reservoirs Project: Research to Improve Water Availability and Economic Development in Rural Semi-arid Areas, En: Kittisou, M., M. Ndulo, M. Nagel, and M. Grieco (eds). The Hydropolitics of Africa: A Contemporary Challenge. Cambridge Scholars Publishing, 2007. <http://smallreservoirs.org/full/publications/reports/Q12-TUD-SRP-Hydropolitics-07.pdf>.
318. Ngigi, S.N. (2003) What is the limit of up-scaling rainwater harvesting in a river basin? Physics and Chemistry of the Earth. Vol. 28:943-956.
319. Munamati, M. y Senzanje, A. (2007) Dimensions of stakeholder interactions in small reservoir development and management in Zimbabwe. Paper presented at the 8th Waternet/ Warfsa/ GWP Symposium, Lusaka, Octubre 31st—2nd Noviembre 2007. <http://bscw.ihe.nl/pub/bscw.cgi/d2607306/Senzanje-Munamati.pdf320>. Gupta, R. (2006) Tamil Nadu's tank rehab scheme does not hold water. Published 3 June 2006. Fecha de acceso: 30 Noviembre 2010. http://www.worldproutassembly.org/archives/2006/06/tamil_nadus_tan.html
321. Thomas, T.H. and Martinson, D.B. (2007) "Roof water Harvesting: A Handbook for Practitioners" IRC International Water and Sanitation Centre. Technical Paper Series; no. 49. Delft, The Netherlands Available from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/Roofwater/content.pdf>.
322. US EPA. (2004). "Water Reuse Guidelines."
323. Asano, T., Burton, F.L., Leverenz, H.L., Tsuchihashi, R. y Tchobanoglous, G. (2007). "Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications." McGraw Hill. New York.
324. Po, M., Kaercher, J., and Nancarrow, B. (2003). Literature Review of Factors Influencing Public Perceptions of Water Reuse. Australian Commonwealth Scientific and Research Organization (CSIRO). Technical Report54/03. Disponible en línea en: <http://www.clw.csiro.au/publications/technical2003/tr54-03.pdf>.
325. UNEP and Global Environment Centre Foundation (GEC). (2004). Water and Wastewater Reuse: An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management. Disponible en línea en: http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=3596.
326. Organización Mundial de la Salud (WHO). (2008). Guidelines for drinking-water quality. Third Ed. Ginebra, Switzerland: WHO. Disponible en línea en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en.
327. Bartram, J., L. Corrales, A. Davison, D. Deere, D. Drury, B. Gordon, G. Howard, A. Rinehold, M. Stevens. (2009). Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers. World Health

- Organization. Ginebra. Disponible en línea en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/WSP/en/index.html. Fecha de acceso: 26 Noviembre 2010.
328. WHO (2011) Water Safety Plan Quality Assurance Tool. Organización Mundial de la Salud and InternationalWater Association. Disponible en línea en http://www.wsportal.org/templates/Id_templates/Layout_1367.aspx?ObjectId=20686&lang=eng. Fecha de acceso: Enero 18 2011.
329. Davison, A., G. Howard, M. Stevens, P. Callan, L. Fewtrell, D. Deere, J. Bartram. (2005). Water SafetyPlans: Managing drinking-water quality from catchment to consumer. Organización Mundial de la Salud. Ginebra. Disponible en línea en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsp0506/en/index.html.
330. Godfrey, S. and G. Howard. (2004). Water Safety Plans for Urban Piped Water Supplies in Developing Countries. WEDC, Loughborough University, UK. Disponible en línea en <http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/CasosEstudiosPSA/WSPDevelopingCountries.pdf>. Fecha de acceso: 29 Noviembre 2010.
331. Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen and I.A.Shiklomanov (2007) Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.
332. Pachauri, R. (2010) Opening of the 16th session of the Conference of the Parties (COP 16) Cancun - Mexico, 29 Noviembre 2010.
333. UNFCCC (2002) The Delhi Ministerial Declaration on Climate Change and Sustainable Development.

Anexo I: Glosario

Accesorio para agua: Válvula o accesorio que controla la descarga de agua de una línea doméstica o un sistema de distribución municipal sin necesidad de energía eléctrica (por ejemplo, un grifo o un cabezal de ducha).

Agua no contabilizada – ANC (*Unaccounted for water*, UFW): Diferencia entre el volumen ingresado en un sistema de distribución municipal y el volumen facturado bajo consumo autorizado, que consiste en el consumo autorizado no facturado, las pérdidas aparentes y las pérdidas reales. En la práctica común ha sido reemplazado por el término “agua no rentable” (ver también: Agua no rentable).

Agua no rentable – ANR (*Non-revenue water*, NRW): Diferencia entre el volumen de ingreso a un sistema de distribución municipal y el volumen facturado bajo consumo autorizado, que consiste en el consumo autorizado no facturado, las pérdidas aparentes y las pérdidas reales. Ha sido reemplazado por el término “agua no contabilizada” (ver también: Agua no contabilizada).

Agua producto: En el tratamiento con membrana, la fracción de agua que ha pasado a través de una membrana (término alternativo: permeado).

Agua reciclada: Término alternativo para agua residual que ha sido tratada y puede utilizarse con fines potables y/o no potables, y que generalmente se considera más aceptable culturalmente que “agua recuperada” (ver también: Recuperación de Agua, Reutilización de Agua).

Área de captación: Cuenca geográfica sobre la cual el agua superficial proveniente de la precipitación se transporta a un punto de salida simple, donde usualmente desemboca en un río, lago, reservorio, estuario, pantano, mar u océano (términos alternativos: cuenca de drenaje, cuenca de captación, área de drenaje, cuenca pluvial, cuenca hídrica, subcuenca. Ver también: Subcuenca).

Auditoría de agua: En la distribución de agua corriente es el proceso de monitorear sistemáticamente los volúmenes de ingreso, flujo a través del sistema de distribución y uso del cliente durante un período de bajo flujo (por la noche), a fin de cuantificar las pérdidas e identificar las zonas con altos niveles de fuga.

Aumento: Práctica de complementar un suministro de agua primario existente con agua de una fuente secundaria.

Brocal: Planchada de concreto que aleja el agua del cabezal del pozo, evitando así la infiltración de agua desde la superficie.

Cadena de suministro de agua: Medio por el cual el agua llega hasta el consumidor, incluyendo la captación, transporte, tratamiento y distribución. La evaluación de los potenciales peligros en cada componente de una cadena de suministro de agua es clave en los planes de salubridad de agua (PSA).

Captación: Superficie natural o artificial donde cae la lluvia.

Coagulante: Sustancia química que se añade al agua para acondicionar la materia suspendida, coloidal y disuelta con fines de acumulación, precipitación y remoción por sedimentación de gravedad y/o filtración (término alternativo: floculante).

Concentrado: Una solución de alta concentración de agua, iones y otros componentes que fueron retenidos en un proceso de tratamiento con membrana, después de que la fracción tratada “pura” ha pasado a través de la membrana (términos alternativos: fracción retenida, agua rechazada, salmuera).

Conductividad: Capacidad del agua para conducir una carga eléctrica, la cual se incrementa a medida que se disuelven más especies iónicas en el agua (ver también: Sólidos Totales Disueltos, Salinidad).

Consumo no autorizado: Extracción intencional de agua de un sistema de distribución municipal en forma no aprobada por la autoridad del agua, como por ejemplo las conexiones ilegales o el uso de agua de las bocas de incendios para fines domésticos.

Cuenca: Área geográfica total sobre la cual drena la precipitación a un cuerpo de agua específico (ver también: Área de cuenca).

Curva Ambiental Kuznets (*Environmental Kuznets Curve, EKC*): Curva que ilustra la relación teórica entre el ingreso per cápita y el uso de los recursos naturales y/o la emisión de residuos en forma de U invertida: el uso natural de los recursos y/o la emisión de residuos aumenta con el ingreso, cuando este es relativamente bajo, y luego empieza a declinar con el ingreso a medida que más recursos se dirigen a la calidad y conservación ambiental.

Desalinización: Práctica de remoción de los sólidos disueltos del agua de mar o agua salobre por medio de una membrana, proceso térmico o de otra naturaleza (términos alternativos: desalinización, remoción de sal).

Encamisado: Forro rígido, usualmente hecho de PVC, metal o material similar, que evita el colapso de un pozo entubado o pozo perforado. A menudo tienen “ranuras” que permiten ingreso de agua a través de ellas.

Equilibrio de nivel mínimo: Escenario de suministro de agua en el cual la baja calidad, la cobertura y los ingresos netos se perpetúan en razón de eficiencias [sic] organizativas severas y en las cuales existen pocos incentivos para que nuevos usuarios se conecten al sistema.

Escasez de agua: Estado de baja disponibilidad de agua per cápita, que típicamente se define como menos de 1000 m³/cápita/año (ver también: Estrés hídrico).

Escoorrentía: Fracción de la precipitación o la nieve derretida que no se infiltra en la subsuperficie sino que corre sobre el suelo.

Estrés hídrico: Estado de baja disponibilidad de agua per cápita, que típicamente se define como menos de 1700 m³/cápita/año (ver también: Escasez de agua).

Evapotranspiración: Proceso por el cual el vapor de agua se libera en el aire por evaporación a partir de los cuerpos de agua y superficies, y por transpiración, a través de la asimilación de las plantas, con la subsecuente liberación de agua por medio de las hojas.

Gestión integrada de recursos hídricos GIRH (*Integrated water resource management, IWRM*): Enfoque de política intersectorial sistemática con respecto al desarrollo sostenible, asignación y monitoreo de los recursos hídricos en el contexto de objetivos sociales, económicos y ambientales.

Inundación: Saturación temporal de agua en tierras que normalmente no están cubiertas por agua.

Manejo de fugas: Conjunto de enfoques proactivos para priorizar la detección de fugas y controlar la presión de los sistemas, a fin de reducir las pérdidas por fugas en los sistemas de agua corriente.

Meta basada en la salud: Nivel deseado de protección de la salud para una exposición dada que puede basarse en una medida de morbilidad general o la ausencia de una enfermedad específica.

Microcaptación: Área con pendientes y barreras de contorno, diseñada para desviar o desacelerar la escorrentía de manera que pueda ser almacenada antes de que se evapore o ingrese en cursos de agua. Las microcaptaciones se utilizan frecuentemente para “almacenar” agua a fin de humedecer el suelo para la agricultura.

Modelo de gestión comunitaria impulsado por la demanda: Enfoque de suministro de agua en áreas rurales que ha encontrado amplia aceptación. Las características básicas de los sistemas de agua desarrollados en este marco son: (1) está orientado por la demanda del consumidor; (2) es gestionado por un comité de agua comunitario; (3) exige la recuperación parcial de los costos de capital; (4) requiere la recuperación total de los costos de operación y mantenimiento (O/M); (5) asegura la disponibilidad de repuestos por medio de la compra en mercados locales, e (6) incluye un mayor rol para las mujeres en la toma de decisiones.

No potable: En referencia al agua, condición no apta o insegura para el consumo porque contiene contaminantes físicos, químicos o microbiológicos.

Ósmosis inversa (OI): Tipo de proceso de tratamiento con membrana que utiliza alta presión para revertir la presión osmótica natural y separar los constituyentes disueltos del agua. La OI se utiliza para fines tales como la desalinización del agua marina o aguas salobres, y la remoción de contaminantes específicos como la materia orgánica natural de las aguas superficiales y el color de las aguas subterráneas (ver también: Tratamiento con membrana).

Pequeño reservorio: Embalse, generalmente rodeado por bermas de tierra, que se usa para recolectar los flujos de ríos, quebradas y otros cursos de agua. Típicamente son utilizadas por las comunidades pequeñas como fuente de agua doméstica y agrícola.

Pérdidas aparentes: Porcentaje de agua no rentable de un sistema de agua corriente que no incluye fugas y que generalmente se atribuye al consumo no autorizado y/o a la inexactitud en la medición (ver también: Agua no rentable, Pérdidas reales).

Pérdidas reales: Volumen de agua que se pierde físicamente de una red antes de que llegue al medidor del consumidor debido al rebalse de los tanques de almacenamiento o a una fuga. Las pérdidas reales representan un porcentaje del agua no rentable total (ver también: Pérdidas aparentes, Agua no rentable).

Piragua: Término alternativo para pequeño reservorio (ver también: Pequeño Reservorio)

Potable: En referencia al agua, calidad física, química y microbiológica suficiente para hacerla apta para el consumo humano.

Pozo entubado: Tubo o encamisado angosto y ranurado que ingresa en una zona con agua de la subsuperficie. Algunos pozos entubados se instalan por medio de barrenado manual mientras que otros requieren fuente de energía externa (ver también: Pozo perforado).

Pozo perforado: Perforación angosta que penetra el lecho rocoso e ingresa en una zona subsuperficial portadora de agua. Los pozos perforados son similares a los pozos entubados pero su encamisado no se extiende por debajo de la interfase entre el suelo no consolidado y la base rocosa. Los pozos perforados requieren un método de perforación con una fuente de energía externa (ver también: Pozo entubado).

Presa: Dique o muro utilizado para dirigir o contener el flujo de agua.

Primer enjuague (*First flush*): Escorrentía inicial de un techo después de un evento de precipitación que, generalmente, representa los primeros pocos milímetros de lluvia que siguen a un período seco. El primer enjuague generalmente contiene concentraciones relativamente más altas de diversas partículas, elementos orgánicos y contaminantes microbiológicos que la siguiente escorrentía. Esta parte de la lluvia comúnmente se separa del almacenamiento usando algún tipo de mecanismo para dicho fin.

Prueba de producto final: Prueba de contaminantes biológicos o químicos en agua inmediatamente después de que esta ha pasado a través de una cadena de tratamiento.

Punto de uso – PUD (*Point-of-use, POU*): Ubicación donde se consume o utiliza el agua para tareas diarias. Este término generalmente se emplea para referirse al tratamiento de agua potable en el hogar.

Recuperación de agua: Tratamiento o procesamiento de aguas residuales para hacerlas reutilizables con una confiabilidad de tratamiento definible y que cubran los criterios de calidad de agua pertinentes.

Recuperación de costos: En suministro de agua, aquellas empresas de servicio público o sistemas bajo gestión comunitaria que cobran tarifas suficientes para pagar sus costos de operación, mantenimiento y capital (es decir, no subsidiadas por fuentes externas).

Reutilización de agua: Uso de aguas residuales tratadas (o agua recuperada) para fines benéficos.

Reutilización potable directa: Introducción intencional de agua recuperada en el sistema de distribución u otros suministros dirigidos al consumo humano.

Reutilización potable indirecta: Uso del agua recuperada para recargar acuíferos subterráneos o aumentar los reservorios de aguas superficiales que se usan como fuentes para suministro de agua potable (en oposición a: reutilización potable directa).

Salinidad: Cantidad total de todas las sales disueltas en el agua, generalmente expresadas en partes por mil.

Salobre: Adjetivo referido al agua que tiene menos salinidad que la marina pero más que el agua dulce, usualmente como resultado de la mezcla de aguas dulces y marinas en los estuarios.

Sequía: Condición temporal de un patrón climático que se presenta debido a una baja precipitación y/o una elevada evapotranspiración. Esto contrasta con la aridez, que es la condición climática “ordinaria” para algunas áreas”.

Sistemas duales: Red de agua corriente que permite el ingreso de agua de diferentes fuentes para ser distribuida en forma separada para diferentes usos (es decir, un sistema de distribución que incluye un juego de tubería para agua potable de “alta calidad” y otra para agua de baja calidad que se puede usar para riego o contra incendios).

Sólidos disueltos totales o sólidos totales disueltos (SDT o STD): Medida de la masa total de sólidos disueltos de un volumen de solución que excluye los sólidos suspendidos (típicamente expresados en mg/L) (ver también: Salinidad, Conductividad).

Soporte Posconstrucción – SPC (*Post-construction support, SPC*): Una amplia diversidad de programas dirigidos a proporcionar soporte financiero, técnico, administrativo, legal y de operación y mantenimiento de los sistemas de agua de gestión comunitaria.

Tanque/reservorio comunitario: Término alternativo para pequeño reservorio, comúnmente utilizado en el sudeste asiático (ver también: Pequeño reservorio).

Tarifas: Precios asignados a los suministros de agua, proporcionados por una empresa pública de servicio a través de una red de agua corriente, a sus consumidores. Las tarifas volumétricas (costo/m³) a menudo varían dependiendo del consumo mensual (término alternativo: precios de agua).

Tecnología ambientalmente sólida (*Environmentally sound technology, EST*): Tecnología que tiene el potencial para un desempeño ambiental significativamente mejor en relación a otras tecnologías a las cuales sustituye. Este tipo de tecnologías limitan la contaminación, reciclan o reutilizan sus residuos y productos y utilizan los recursos de forma sostenible.

Transpiración: Proceso por el cual el agua es absorbida por las plantas (mayormente a través de las raíces) y perdida como vapor de agua a través de las hojas y otras partes de las plantas (ver también Evapotranspiración).

Transporte: Referente a un sistema de aparatos y tuberías utilizados para dirigir el flujo de agua desde una captación o lugar de almacenamiento a otro destino (es decir, cunetas y tuberías utilizadas para dirigir el agua de lluvia de un techo a un recipiente de almacenamiento).

Tratamiento con membrana: Técnica de separación físico-química moderna en la que el agua es bombeada contra la superficie de un material sintético semipermeable, de manera que el agua producto pasa, mientras que los otros constituyentes, generalmente más grandes, permanecen en la corriente residual. Los tipos de procesos de tratamiento con membrana actualmente empleados en el tratamiento de agua municipal son, en orden de mayor a menor permeabilidad: microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF) y ósmosis inversa (OI).

Uso no intencional: Uso natural o no planificado de la descarga de aguas residuales tratadas a fuentes de agua que se usan para suministro de agua por las mismas u otras comunidades (términos alternativos: Reutilización incidental, Reutilización no planificada).

Anexo II: Fuentes de Información Adicional Recomendadas

Estos recursos fueron seleccionados de entre los que se han citado a lo largo de la guía y apuntan a ser una selección de mayor utilidad para una amplia diversidad de actores en el sector de los recursos hídricos. Están escritos en forma que resulten asequibles para los no expertos. Casi todos ellos se encuentran gratuitamente en línea.

Cap-Net (2010) IWRM a Tool for Adaptation to Climate Change. Sitio web con vínculos a materiales de Material de Capacitación y Power Point en castellano, francés y portugués. <http://www.cap-net.org/node/1628> Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.

Carter, R. (2006) Ten-step Guide Towards Cost-effective Boreholes: Case study of drilling costs in Ethiopia. Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial. <http://www.rwsn.ch/documentation/skatdocumentation.2007-06-04.3136351385/file>. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.

Calow, R.C., Robins, N.S., Macdonald, A.M., Macdonald, D.M.J., Gibbs, B.R., Orpen, W.R.G., Mtembezeka, P., Andrews, A.J., y Appiah, S.O. (1997) Groundwater management in drought prone areas of Africa. Water Resources Development Vol. 13:241-261.

Clasen, T. (2009) Scaling Up Household Water Treatment among Low-Income Populations. (WHO/ HSE/ WSH/09.02) Organización Mundial de la Salud, Ginebra. http://whqlibdoc.who.int/hq/2009/WHO_HSE_WSH_09.02_eng.pdf. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.

DHV Water BV, the Netherlands, and BRL Ingénierie (2004) Seawater and Brackish Water Desalination in the Middle East, North Africa and Central Asia: A Review of Key issues and Experience in Six Countries. Informe para el Banco Mundial. http://siteresources.worldbank.org/INTWSS/Resources/Desal_mainreport-Final2.pdf. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.

European Commission (2009) Study on Water Efficiency Standards. Reference: 070307/2008/5208889/ETU/D2. http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/Water%20efficiency%20standards_Study2009.pdf. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.

Farley, M. (2001) Leakage management and control: A Best Practice Training Manual. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. http://whqlibdoc.who.int/hq/2001/WHO_SDE_WSH_01.1_eng.pdf. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.

Fragano, F., Linares, C., Lockwood, H., Rivera, D., Trevett, A., y Yepes, G. (2001) Case Studies on Decentralization of Water Supply and Sanitation Services in Latin America. Editado por F. Rosensweig. Strategic Paper 1, Environmental Health Project, Office of Health, Infectious Diseases and Nutrition, Bureau of Global Health. United States Agency for International Development. Washington, DC. http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnack672.pdf. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.

Howard, G., Godfrey, S., y Boonyakarnkul, T. (2006) Sanitary completion of protection works around groundwater sources. En “Protecting Groundwater for Health”. Eds. Schmool, O., Howard, G., Chilton, J. & Chorus, I. International Water Association. London. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd59/protecting/sect4-18.pdf>. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.

- Lockwood, H. (2002) "Institutional Support for Community-managed Rural Water Supply and Sanitation Systems in Latin America." Strategic Report 6, Environmental Health Project, Office of Health, Infectious Diseases and Nutrition, Bureau of Global Health. United States Agency for International Development. Washington, DC: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACR786.pdf. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.
- PATH (2010) Global Landscape of Household Water Treatment and Safe Storage Products. Seattle. http://www.path.org/files/TS_swp_hwts_gl.pdf. Fecha de acceso: 8 Febrary 2011.
- Small Reservoirs Project (2011), Sitio web Small Reservoirs Project. Vínculos a "Toolkit" y "Publications" <http://www.smallreservoirs.org/> Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.
- Thomas, T.H. and Martinson, D.B. (2007) "Roofwater Harvesting: A Handbook for Practitioners" IRC International Water and Sanitation Centre. Technical Paper Series; no. 49. Delft, Holanda. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/Roofwater/content.pdf>. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.
- US EPA (2004) "Water Reuse Guidelines." EPA/625/R-04/108. Washington. Disponible en línea en: <http://www.epa.gov/ord/NRMRL/pubs/625r04108/625r04108.htm>. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.
- WaterAid (2006) "Technology notes." London. http://www.wateraid.org/documents/plugin_documents/technology_notes_2008.pdf. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.
- WHO (2007) Desalination for Safe Water Supply: Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination. Rolling Revision. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. http://www.who.int/water_sanitation_health/gdwqrevision/desalination.pdf. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.
- WHO (2010) HWTS Fact sheets and tools. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. http://www.who.int/household_water/network/tools/en/index.html. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.
- WHO e IWA (2010), sitio web WSPortal. Organización Mundial de la Salud y Asociación Internacional del Agua. <http://www.who.int/wsportal/en/>. Fecha de Acceso: 8 de febrero de 2011.

Anexo III: Marcos para Toma de Decisiones: GIRH y PSA

La lista de tecnologías y prácticas de adaptación presentadas en esta guía no pretende ser exhaustiva. Por otro lado, la adaptación al cambio climático en el sector de los recursos hídricos no debería tomarse como una serie de tecnologías y prácticas implementadas en forma aislada, sino que debería constituir una faceta de un enfoque integrado e intersectorial a los recursos hídricos y el suministro de agua.

Se presentan aquí dos marcos para el enfoque de la adaptación al cambio climático en el sector de los recursos hídricos: gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) y planes de salubridad del agua (PSA). Estos dos enfoques y sus potenciales contribuciones son materia de una descripción breve y ofrecen citas de los principales recursos para los lectores que desean explorarlos a mayor profundidad.

Gestión Integrada de Recursos Hídricos

A través de la historia, en muchos países, la gestión de recursos hídricos ha presentado una tendencia orientada al suministro y un enfoque dominado por la ingeniería. A medida que se ha incrementado la presión sobre los recursos hídricos en todo el mundo, se ha producido una transición hacia las visiones intersectoriales dirigida a la demanda. La Declaración de Dublín sobre Desarrollo Sostenible^I (1992) sentó las bases sobre las que se desarrolló la Gestión Integrada de Recursos Hídricos^{II}. La creciente evidencia de que el enfoque de GIRH puede mejorar los resultados en el manejo de recursos de agua ha conducido a su adopción en muchos lugares^{III}.

El Informe de 2007 de la Cuarta Evaluación del IPCC identificó la GIRH como “un instrumento para explorar las medidas de adaptación al cambio climático”, al mismo tiempo que lamentaba encontrarse todavía “en pañales”^{IV}. Desde entonces, se ha realizado un número importante de investigaciones sobre la aplicación de la GIRH en diversos escenarios y su relevancia para la adaptación al cambio climático.

Una introducción ideal tanto para la GIRH como para su empleo en la adaptación al cambio climático son el manual de capacitación^V y las presentación de apoyo^{VI} desarrolladas por Cap-Net, una red de la ONU y otras entidades internacionales. Cap-Net preparó estos recursos de forma que se adapten al formato de un curso corto de instrucción para gestores de agua y encargados de políticas de adaptación al cambio climático. Sin embargo, contienen conocimientos conceptuales y prácticos presentados a un nivel apropiado para un amplio rango de actores.

Los impactos del cambio climático sobre el sector de los recursos hídricos son inciertos y se estima que variarán de un lugar a otro^{VI}. Por lo tanto, los marcos para la adaptación al cambio climático de amplia aplicación en el sector de los recursos hídricos deberían incrementar la resiliencia de las poblaciones bajo cualquier escenario climático plausible. De conformidad con Cap-Net, la GIRH ofrece un marco que es:

- Sólido: No es generado por el evento e incluye integración intersectorial de metas de políticas de desarrollo para cumplir tanto necesidades presentes como futuras.
- Flexible: No se basa en un solo escenario, sino que es la combinación ideal de diversas medidas.
- Adaptativo: Puede funcionar en condiciones de incertidumbre y ajustar el enfoque del manejo basado en los resultados de las estrategias implementadas, tomando en cuenta nuevas realidades.

Aunque existe un consenso difundido sobre la importancia de los principios fundamentales de la GIRH, su implementación en el mundo real puede ser todo un desafío. Entre las barreras comunes para ello se encuentran los intereses sectoriales atrincherados, las inseguridades profesionales, los conflictos transfronterizos y los aspectos socioculturales del recurso hídrico^{ii,v}. Sin embargo, la superación de estas barreras puede mejorar sustancialmente la resiliencia al cambio climático en todos los sectores que tienen importantes demandas de agua.

Entre los principales recursos no mencionados anteriormente se encuentra una lista de referencias para “todos los interesados en familiarizarse con los problemas de la GIRH”, publicada por UN-Water, que contiene descripciones breves y vínculos de internet a más de 20 publicaciones de la ONU sobre GIRH, entre las que se encuentran documentos guía y estudios de caso para la implementación de la GIRH en África, Asia y América Latina^{vii}. Entre los documentos citados en esta lista de referencias se encuentra el Informe de Estado sobre la Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Planes de Salubridad de Agua (Status Report on Integrated Water Resources Management and Water Efficiency Plans) de 2008, que ofrece una visión general del estado de la implementación de la GIRH en 100 países, entre ellos, 77 en vías de desarrollo.

Planes de Salubridad de Agua

La GIRH trata principalmente la gestión y cantidad de los recursos hídricos. El IPCC estima que el cambio climático conducirá a una degradación de la calidad del agua. Las proyecciones incluyen un incremento en la actividad cianobacteriana, la contaminación física y química de los cuerpos de agua, y la intrusión salina^{viii}.

Los PSA, que se describen extensamente en el Capítulo 4 de esta Guía pueden complementar la GIRH proporcionando un marco específico para garantizar la seguridad y calidad del suministro de agua. Cuando su implementación es exitosa, su orientación puede asegurar el mantenimiento de la calidad del agua en casi cualquier contexto. Los componentes de monitoreo, gestión y retroalimentación de un PSA exitoso facilitan la flexibilidad, adaptabilidad y solidez necesarias para proteger los suministros de agua en un clima incierto.

Notas finales

- i International Conference on Water and the Environment (1992) The Dublin Statement on Water and Sustainable Development. Adoptada el 31 de enero de 1992 en Dublín, Irlanda. International Conference on Water and the Environment. <http://www.un-documents.net/h2o-dub.htm>. Fecha de Acceso: 25 de enero de 2011.
- ii Rahaman, M.M. y O. Varis (2005) Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges. *Sustainability: Science, Practice, & Policy* Vol. 1:15–21. <http://sspp.proquest.com/archives/vol1iss1/0407-03.rahaman.pdf> Fecha de Acceso: 6 de febrero de 2011.
- iii DHV Water BV, the Netherlands, y BRL Ingénierie (2004) Seawater and Brackish Water Desalination in the Middle East, North Africa and Central Asia: A Review of Key issues and Experience in Six Countries. Informe del Banco Mundial. http://siteresources.worldbank.org/INTWSS/Resources/Desal_mainreport-Final2.pdf Fecha de Acceso: 9 de noviembre de 2010.
- iv Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen y I.A. Shiklomanov (2007) Freshwater resources and their management. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.
- v UNESCO, Institute for Water Education (2010) GIRH as a Tool for Adaptation to Climate Change. http://www.cap-net.org/sites/cap-net.org/files/CC%20GIRH%20_English%20manual_.pdf Fecha de Acceso: 25 de enero de 2011.
- vi Cap-Net (2010) GIRH a Tool for Adaptation to Climate Change. Sitio web con vínculos al Manual de Capacitación y materiales de Power Point en castellano, francés y portugués. <http://www.cap-net.org/node/1628> Fecha de Acceso: 25 de enero de 2011.

- vii UNW-DPAC (2010) Integrated Water Resources Management Reader. UN-Water, Programa del Decenio sobre Defensa y Comunicación. http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/05_2010_reader_GIRH_eng.pdf
- viii IPCC (2007) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribución del Grupo de Trabajo II al Tercer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [Parry, Martin L., Canziani, Osvaldo F., Palutikof, Jean P., van der Linden, Paul J., and Hanson, Clair E. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1000 pp.



La presente guía se enfoca en las tecnologías y prácticas de adaptación para el sector de los recursos hídricos, cuyo alcance es definido por el IPCC como los recursos de agua dulce y su gestión. En este documento se describen en detalle once tecnologías y prácticas, que están categorizadas de acuerdo a su contribución a la adaptación al cambio climático: diversificación del suministro de agua, recarga de aguas subterráneas, preparación para eventos climáticos extremos, resiliencia a la degradación de la calidad del agua, control y captación de agua de lluvia, y conservación del agua.

Los coautores de esta publicación son los señores Mark Elliott, Andrew Armstrong, Joseph LoBuglio y Jamie Bartram del Instituto del Agua de la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill. El Profesor Bartram actualmente es Director del Instituto y anteriormente se desempeñó como Coordinador del Programa de Agua, Saneamiento, Higiene y Salud de la Organización Mundial de la Salud; asimismo fue Presidente de UN-Water. Los autores describen las tecnologías de adaptación desde la fuente al consumidor y discuten las interfaces entre agua, salud, desarrollo y cambio climático.

La Guía será utilizada por los equipos nacionales de Evaluación de Necesidades de Tecnología (ENT), los cuales están compuestos por actores del gobierno, organizaciones no gubernamentales y el sector privado. Esta publicación corresponde a una de las guías de tecnología de adaptación y mitigación producidas como parte del proyecto ENT, financiado por el FMAM. El proyecto es desarrollado por PNUMA y URC en 36 países en desarrollo.



Centro Risø de Energía Clima y Desarrollo Sostenible del PNUMA (URC)
Laboratorio Nacional Risø para Energía Sostenible de la UTD
<http://www.uneprisoe.org/>
<http://tech-action.org/>