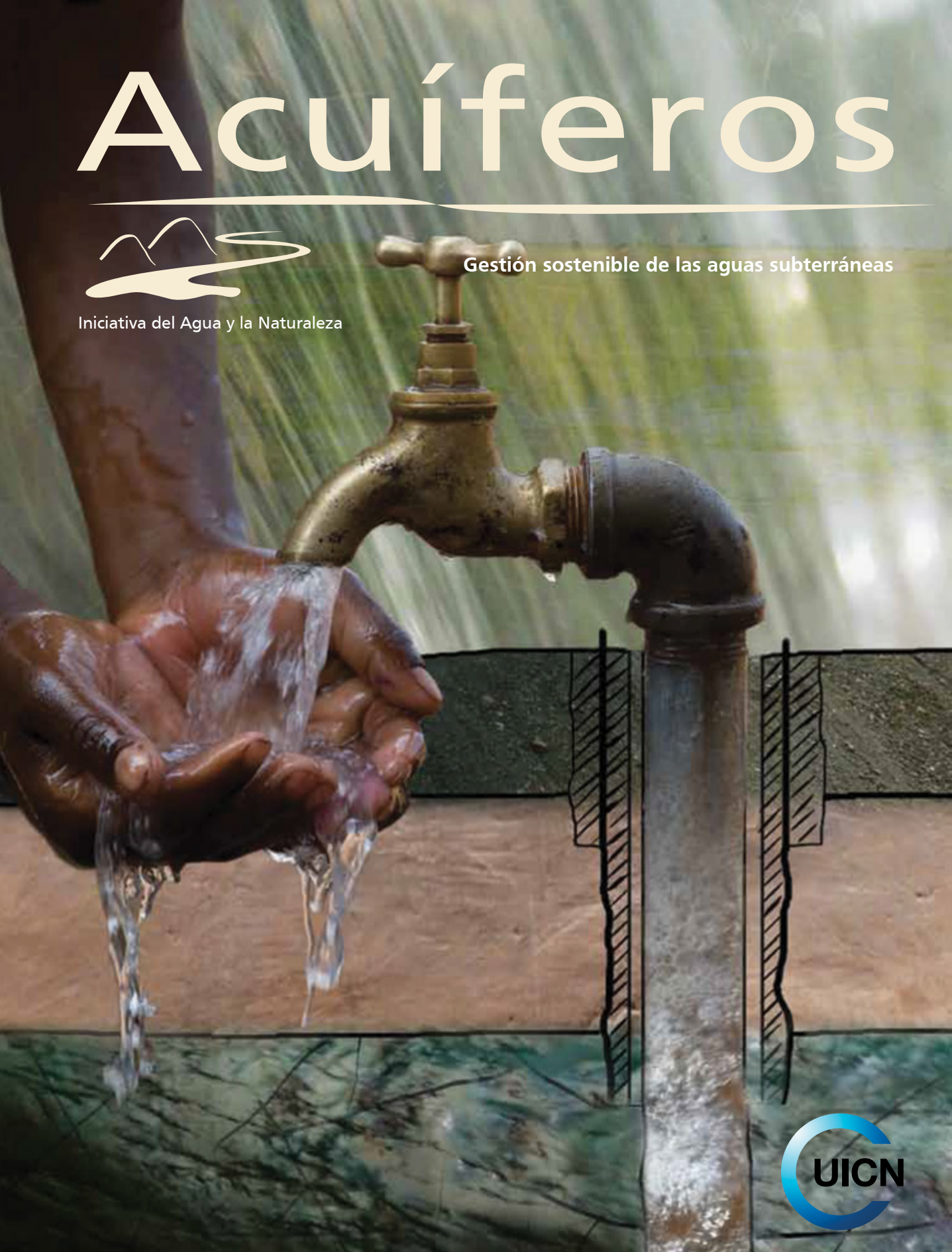
Acuíferos

Gestión sostenible de las aguas subterráneas

Iniciativa del Agua y la Naturaleza



UICN

Acuíferos

Gestión sostenible de las aguas subterráneas

Iniciativa del Agua y la Naturaleza

Editado por
Mark Smith, Katharine Cross,
Mary Paden y Peter Laban

UICN

La presentación del material en esta publicación y las denominaciones empleadas para las entidades geográficas no implican en absoluto la expresión de una opinión por parte de la UICN o sobre la si¬tuación jurídica de un país, territorio o zona, o de sus autoridades, o acerca de la demarcación de sus límites o fronteras. Los puntos de vista que se expresan en esta publicación no reflejan necesariamente los de la UICN.

La UICN se complace en agradecer el apoyo de sus socios:

- Programa Seguridad Hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala, con el apoyo recibido del Fondo de Cooperación para el Agua y el Saneamiento Básico FCAS de la Cooperación Española
- Programa BRIDGE: Construyendo diálogos y buena gobernanza del agua, financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y Cooperación

La UICN declara cualquier error u omisión en la traducción de este documento de la versión original en inglés al español. En caso de discrepancia, remítase, por favor, a la edición original. Título de la edición original: *Spring: Managing groundwater sustainably (2016)*. Publicado por: UICN, Gland, Suiza. DOI: https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.WANI.8.en

Publicado por: UICN, Oficina Regional para México, América Central y el Caribe (ORMACC)

Derechos reservados: © 2016 UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales
© 2020 UICN Oficina Regional para México, América Central y el Caribe de esta traducción en al español

Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros fines no comerciales sin permiso escrito previo de parte de quien detenta los derechos de autor con tal de que se mencione la fuente.
Se prohíbe reproducir esta publicación para la venta o para otros fines comerciales sin permiso escrito previo de quien detenta los derechos de autor.

Citación: Smith, M., Cross, K., Paden, M. y lavan, P. (éds.). *Acuíferos: Gestión sostenible de las aguas subterráneas.* San Jose, Costa Rica: UICN ORMACC.

ISBN: 978-2-8317-2083-8
DOI: https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.WANI.8.es

Traducción: María Sol Torres-Fry

Diseño original: Melanie Kandelaars

Diseño traducción: Wilmer Fallas

Disponible en: UICN Oficina Regional para México, América Central y el Caribe (ORMACC)
Apartado Portal: 607-2050
San Pedro de Montes de Oca
San José, Costa Rica

Teléfono: +506 22 83 84 49
ormacc@iucn.org
www.iucn.org/ormacc
www.iucn.org/resources/publications

Contenido

Mensajes clave....7

Prólogo....14

Editores y autores....15

Reconocimientos....16

Capítulo 1. Retos y riesgos de las aguas subterráneas....18

1.1 La urgencia global de la gestión sostenible de las aguas subterráneas....18

1.2 Aguas subterráneas para el desarrollo sostenible....20

1.3 Gestión de aguas subterráneas: un cambio necesario....21

Capítulo 2. Sistemas de aguas subterráneas....24

2.1 Conocimiento de aguas subterráneas: el punto de partida para las soluciones de manejo....24

2.2 Cómo funcionan las aguas subterráneas....25

2.3 Amenazas al agua subterránea: sobre extracción y contaminación....34

2.4 Información requerida para mejorar la gestión de los acuíferos....39

2.5 Marco técnico para la gestión del agua subterránea....43

2.6 Intervenciones de gestión para la protección y remediación del agua subterránea....46

2.7 Lista de verificación: Aplicación de conocimientos técnicos e información para la gestión y protección de las aguas subterráneas....48

Capítulo 3. Políticas, leyes e instituciones para la gobernanza efectiva de las aguas subterráneas....50

3.1 Gobernanza de las aguas subterráneas....50

3.2 Políticas para la gestión de aguas subterráneas....51

3.3. Marcos legales para la gestión de las aguas subterráneas....55

3.4 Arquitectura institucional para la gestión de aguas subterráneas....63

3.5 Lista de verificación: Potenciando la buena gobernanza del agua subterránea....67

Capítulo 4. Instrumentos y principios económicos para la gestión sostenible de las aguas subterráneas....69

4.1 Dimensiones económicas del agua subterránea....69

4.2 Factores socioeconómicos del uso y la contaminación del agua subterránea....70

4.3 Valoración de las fuentes de agua subterránea....72

4.4 Instrumentos económicos para la protección y gestión de las aguas subterráneas....79

4.5 Alineación de los incentivos de la política agrícola....87

4.6 Lista de verificación: creación de incentivos económicos....88

Capítulo 5. Organización social para el manejo del agua subterránea....91

5.1 Participación en la gobernanza del agua....91

5.2 Principios de los procesos sociales para el cambio....92

5.3 Actividades en un proceso de gestión y cambio....95

5.4 Lista de verificación: Diseño del diálogo de los actores y la acción concertada....109

Capítulo 6. Actuando en la gestión de las aguas subterráneas....111

6.1 Catalizando el cambio para la gestión sostenible de las aguas subterráneas....111

6.2 Involucrar a los actores....114

6.3 Demostración, aprendizaje y comunicación....120

6.4 Compromiso con la política de cambio....121

Casos y recuadros....122

Tablas e imágenes....124

Referencias....126

Imágenes y créditos gráficos....136

Mensajes clave

1. Retos y riesgos del agua subterránea

El agua subterránea es la fuente de agua dulce más abundante en la Tierra
El volumen total de agua subterránea dulce almacenada en la Tierra oscila entre 8 a 10 millones de km3, o 96% del agua dulce no congelada. El agua subterránea abastece casi el 50% del agua potable mundial y 43% de toda el agua utilizada para riego en la agricultura. Los cambios en la disponibilidad y calidad del agua subterránea tienen un impacto en la salud del ser humano, medios de vida, seguridad alimentaria y desarrollo económico nacional. Muchos ecosistemas acuáticos y su biodiversidad dependen del agua subterránea. La falta del manejo sostenible del agua pone en riesgo a cuantiosos beneficios para el bienestar del ser humano, el desarrollo sostenible y la conservación de la biodiversidad.

La explotación de muchos acuíferos importantes en el mundo no es sostenible
La extracción mundial del agua subterránea se ha triplicado en los últimos 50 años. Los niveles de agua subterránea han disminuido considerablemente en los principales acuíferos, reduciendo el caudal de los arroyos y causando la degradación de los ecosistemas de humedales y ribereños. La viabilidad a largo plazo de la economía de las regiones que dependen de acuíferos está amenazada, generando así riesgos a largo plazo para la seguridad alimentaria mundial. La sobreexplotación de las aguas subterráneas y su contaminación amenazan el abastecimiento de agua potable de cientos de millones de personas. La degradación del agua subterránea reduce la resiliencia de las comunidades y economías ante el cambio climático.

La gestión sostenible de las aguas subterráneas contribuye a la conservación de la biodiversidad
Los cambios en los niveles del agua subterránea o en los tiempos, cantidad y calidad de la descarga de aguas subterráneas son un factor de pérdida de biodiversidad en ecosistemas que dependen del agua subterránea, incluyendo manantiales, ríos, lagos y ciertos tipos de humedales y bosques. La conservación de estos ecosistemas depende de la gestión sostenible de las aguas subterráneas y también ayuda a sostener la recarga de aguas subterráneas. La gestión de las aguas subterráneas trabaja conjuntamente con la gestión de ecosistemas para afianzar la disponibilidad continua del agua subterránea, así como también los beneficios de los ecosistemas que dependen del agua subterránea.

El desarrollo sostenible y resiliente al cambio climático debe considerar la gestión de aguas subterráneas
La gestión sostenible del agua subterránea viabiliza la resiliencia al cambio climático y contribuye al cumplimiento de las metas de seguridad alimentaria, desarrollo de energía y acceso a agua potable. Abastece de agua a las ciudades sostenibles y la industria. La gestión sostenible del agua subterránea requiere de la coordinación y trabajo conjunto con los actores asociados a la gestión de aguas superficiales donde usuarios locales del agua subterránea, especialistas técnicos y decisores trabajan juntos para el uso conjunto del recurso. Cada uno juega un papel, ya sea a nivel local, de cuenca, nacional o internacional, para implementar estrategias colaborativas, participativas y de múltiples actores para catalizar la gestión sostenible del agua subterránea.

2. Sistemas de aguas subterráneas

Para mejorar su gestión, es necesario comprender los sistemas de aguas subterráneas
Los recursos de aguas subterráneas no son comprendidos adecuadamente y por ende carecen de una gestión eficiente en muchas partes del mundo. Cuando las cosas salen mal, los daños pueden perdu-

rar o incluso ser permanentes. Los sistemas de aguas subterráneas varían tremendamente, y las soluciones requeridas para su manejo sostenible dependen de cómo responde cada sistema ante distintas presiones. La gestión sostenible del agua subterránea requiere del conocimiento sobre los tipos de roca que conforman un acuífero, cómo se recarga, los riesgos de contaminación y cuánta agua puede extraerse sosteniblemente de un acuífero.

Las dos principales amenazas del agua subterránea son la sobre extracción y la contaminación
La mayor parte del agua subterránea está almacenada en rocas porosas y fracturadas. La recarga de las aguas subterráneas proviene principalmente de la precipitación o a veces por la filtración de los ríos, lagos y canales. El agua de recarga se infiltra bajo la superficie y lentamente fluye hasta su descarga natural en manantiales, ríos y humedales o al mar. La extracción intensa del agua subterránea, por lo general a través del bombeo, reduce la descarga natural y también puede agotar el almacenamiento de aguas subterráneas. El agua de recarga transporta contaminantes químicos —por lo general de la agricultura, aguas residuales o industriales— que pueden contaminar las aguas subterráneas. La gestión de las aguas subterráneas requiere de una comprensión adecuada de las presiones de los contaminantes y la extracción, incluyendo las interacciones con el manejo del agua superficial.

La comprensión de las características de los acuíferos es clave para avanzar desde el diagnóstico hacia acciones y soluciones
El diagnóstico de los problemas actuales y futuros de las aguas subterráneas depende de buena información sobre las condiciones del acuífero y del monitoreo de los niveles del agua subterránea y la calidad del agua. Los sistemas nacionales de monitoreo son esenciales para identificar cuándo es necesario intervenir. La estimación de la capacidad y vulnerabilidad de un acuífero requiere del mapeo de las características del suelo y roca. El balance hídrico se estima al comparar la recarga hacia el acuífero con la descarga natural y la extracción. Es necesario determinar la capacidad de almacenamiento de un acuífero, su transmisibilidad, conductividad hidráulica y porosidad para comprender la respuesta en el tiempo ante el bombeo o la contaminación, y es la base para desarrollar modelos numéricos de aguas subterráneas.

La protección y remediación de las aguas subterráneas dependen de una planificación sólida y de la prevención
La finalidad de la gestión sostenible de aguas subterráneas es prevenir el agotamiento severo o alta contaminación de las aguas subterráneas y minimizar los impactos indeseados en otros. La zonificación permite asegurar que los usos del suelo sean compatibles con la protección de aquellos acuíferos vulnerables. Las intervenciones técnicas clave de la gestión de las aguas subterráneas incluyen el control del bombeo de agua subterránea a niveles sostenibles, de las descargas hacia aguas subterráneas y en algunas áreas, el manejo de la recarga del acuífero. La remediación de aguas subterráneas contaminadas es posible, pero es parcialmente exitosa y muy costosa.

3. Políticas, leyes e instituciones para la gobernanza efectiva de aguas subterráneas

La gobernanza del agua define las estructuras y normas necesarias para la gestión de aguas subterráneas
Una gobernanza débil del agua en un país pone en riesgo la salud y seguridad alimentaria de su población, su economía, así como también la sostenibilidad de su medio ambiente y, para acuíferos transfronterizos, las buenas relaciones con sus vecinos. La gobernanza efectiva depende de políticas, leyes, acuerdos institucionales y mecanismos de implementación y cumplimiento. El fortalecimiento de la gobernanza del agua depende de procesos –movilizados en conjunto con organizaciones so-

ciales, diálogo con las partes interesadas y acción ciudadana– que parten de una visión, se concretan en políticas, luego se codifican en leyes y se ven reflejados en instituciones que desarrollan normas y mecanismos para el cumplimiento coherente de las leyes.

La política de aguas subterráneas es una estrategia del gobierno sobre cómo manejar las aguas subterráneas

Las políticas de aguas subterráneas deben ser integradas dentro de una política nacional del agua más amplia que incluya la gestión de las aguas subterráneas. Las políticas deben promover la integración entre diversos sectores y entre aguas superficiales y subterráneas, respondiendo a los contextos y vulnerabilidades locales. Los principios de la política incluyen eficiencia, equidad, sostenibilidad, participación pública, transparencia, rendición de cuentas, subsidiariedad, uso compartido y el principio de precaución. Los usuarios del agua deben participar en el diseño de las políticas y medidas necesarias para alcanzar las metas de la política. Se debe identificar con claridad los roles y responsabilidades de todas las partes interesadas involucradas para traducir la política en acción, incluyendo un plan nacional de gestión de las aguas subterráneas articulado con la gestión integrada de recursos hídricos.

La ley de aguas subterráneas define las reglas para prevenir usos insostenibles y la contaminación

Las leyes se establecen para codificar políticas. Fijan las reglas para la explotación y protección de aguas subterráneas y quién tiene el derecho de uso. Deben crear un marco estable que permita a los gobiernos y usuarios planificar a largo plazo. La ley determina regulaciones en las cuales los diferentes intereses de los usuarios, incluyendo a los ecosistemas y futuras generaciones, pueden ser tomados en cuenta de forma justa. Los pilares de la ley sobre aguas subterráneas incluyen permisos o licencias que utilizan los gobiernos para administrar los derechos para extraer agua subterránea, mecanismos para controlar la contaminación, ordenamiento territorial y los medios para hacer cumplir las reglas a través de los tribunales.

Las instituciones del agua traducen las decisiones en acciones

Las instituciones del agua a nivel nacional, de cuenca, acuífero o local, o a nivel internacional para acuíferos transfronterizos, aseguran que se cumplan las regulaciones, procedimientos y cumplimientos exigidos por ley. La mejor estructura institucional para cualquier país depende de su sistema de gobernanza, contexto climático e hidrológico y sus circunstancias sociales y económicas. Por ejemplo, una arquitectura institucional efectiva integra a ministerios, la agencia nacional del agua, organizaciones de gestión de acuíferos, autoridades de las cuencas hidrográficas y asociaciones locales de usuarios del agua, y a su vez garantiza la participación efectiva del público. La coordinación de las instituciones del agua se rige por el principio de subsidiariedad, donde las decisiones y actividades deben realizarse en la escala administrativa más baja posible.

4. Principios económicos e instrumentos para la gestión sostenible de las aguas subterráneas

Los principios económicos guían las decisiones sobre el uso de aguas subterráneas

Los usuarios de aguas subterráneas por lo general no han tenido que pagar un 'costo económico total' por el uso del agua subterránea; ni los contaminadores de aguas subterráneas han tenido que pagar por limpiar su contaminación. La subvaloración del agua subterránea contribuye a problemas de extracción excesiva, baja productividad en el uso del agua subterránea e inversión privada y comunitaria inadecuada para la protección de la calidad del agua. La valoración económica real del agua subterránea, traducida en instrumentos económicos, puede generar incentivos para la gestión sostenible y la protección. Los instrumentos económicos deben complementar la administración pública efectiva de los recursos hídricos, bajo un marco de participación pública, y de forma apropiada según el contexto hidrogeológico, socioeconómico e institucional local.

La valoración ayuda a fijar prioridades para la gestión equitativa y eficiente de aguas subterráneas
Los valores económicos del agua subterránea se estiman a partir de los beneficios obtenidos a través de su uso, menos los costos de extracción y gestión. Los valores para un acuífero específico también dependen de la disponibilidad local del agua subterránea en comparación con fuentes alternativas de agua. Una valoración que considera una amplia gama de usos y usuarios de aguas subterráneas permite que los formuladores de políticas públicas identifiquen prioridades y asignen valores altos a ciertos usos y a la productividad, a la vez de asegurar la protección social a favor de los pobres. Es posible incluir a los ecosistemas en la toma de decisiones sobre opciones de manejo mediante la asignación de valores a los servicios ecosistémicos —tanto para ecosistemas dependientes de aguas subterráneas ('agua subterránea para la naturaleza'), así como también para aquellos que mantienen la recarga de las aguas subterráneas ('naturaleza para las aguas subterráneas').

Los incentivos económicos fomentan la adopción voluntaria de las medidas de protección de aguas subterráneas
La imposición de tarifas a la extracción de agua subterránea es el método más directo para incentivar a los usuarios a economizar el uso de agua subterránea. Esto requiere de medir el consumo del agua o usar un método confiable para estimar la extracción, de una administración pública efectiva del recurso, incluyendo el cumplimiento y aplicación de las regulaciones. Una alternativa, cuando las capacidades administrativas son escasas, es usar la tarificación rural de la electricidad como un incentivo para reducir el bombeo. Otra opción para promover usos de mayor valor es el comerciar los derechos de uso de agua subterránea en 'mercados de agua' bajo un límite exigible para el consumo. Pueden utilizarse pagos por servicios ecosistémicos o ambientales como recompensa para los agricultores y administradores de tierras que protegen las zonas de recarga de aguas subterráneas.

Los incentivos para controlar la contaminación aplican "el principio de quien contamina paga"
Bajo el principio de quien contamina paga (contaminador-paga), a las empresas industriales o agrícolas se les puede cobrar por la contaminación del agua que generan. No obstante, en el caso de aguas subterráneas, a menudo es difícil determinar la culpabilidad de la contaminación. Por tanto, la premisa del contaminador-paga debe interpretarse como 'el contaminador potencial paga el costo razonable para proteger las aguas subterráneas'. Es necesario tener fuertes sanciones por incumplimiento, acompañadas por incentivos para que los contaminadores inviertan en sistemas de tratamiento de aguas residuales, reciclaje y eliminación de residuos. Los subsidios para eliminar el uso de fertilizantes y pesticidas contribuyen a controlar la contaminación agrícola de fuente difusa, en especial si se reenfocan en pagos por manejo de suelos para controlar la lixiviación de agroquímicos.

5. Organización social para la gestión de aguas subterráneas

Todos necesitan un lugar en la "mesa del agua"
Debido a que el agua es necesaria para la vida, es un asunto que nos incumbe a todos. Todas las partes interesadas deben converger en la 'mesa del agua' para discutir el uso y manejo del agua subterránea. Por tanto, mejorar la efectividad de la organización social es un prerrequisito para una buena gobernanza de los recursos del agua subterránea y la gestión sostenible de las aguas subterráneas. La organización social facilita la toma de decisiones informada y resolución de conflictos, utilizando mecanismos que permiten la participación activa de todas las partes interesadas en el diálogo, la planificación, toma de decisiones e implementación de actividades en formas que atiendan los intereses y preocupaciones de las partes interesadas, tanto como sea posible.

Las plataformas participativas ayudan a todas las partes interesadas a asumir responsabilidad
Las plataformas participativas para las partes interesadas permiten que las voces de grupos relativamente indefensos, los cuales pueden incluir mujeres y personas vulnerables, sean escuchadas. La

participación ofrece, en especial a los actores locales, la oportunidad para conocer sus derechos y funciones, asumir sus responsabilidades, obtener titularidad y reclamar derechos. Mediante un diálogo genuino y la definición de acuerdos sobre acciones, con representación de todos los sectores, todas las partes interesadas asumen mayor responsabilidad para una buena gestión de aguas subterráneas. Cambios de actitudes y conductas pueden aflorar entre individuos, instituciones, profesionales y tomadores de decisiones. Estos cambios no ocurren de la noche a la mañana, pero una vez los procesos de organización social se convierten en la norma, por lo general perduran porque son altamente aceptados y efectivos.

La organización social efectiva establece procesos para gestionar el cambio
La organización social para la gestión de las aguas subterráneas implica procesos de cambio que necesitan incluir a grupos vulnerables e integrar al medio ambiente como partes interesadas. Esto requiere del apoyo de aquellos que están en el poder para institucionalizar los cambios y, por consiguiente, la integración de la organización social y procesos gubernamentales formales para el fortalecimiento de la gobernanza del agua. La organización social en pro del cambio requiere del respeto para escuchar y compartir soluciones en un diálogo abierto, creando así la apropiación y creación de capacidades a todo nivel, así como también el reconocimiento que los procesos sociales son una buena inversión.

El diálogo facilitado entre las partes interesadas es la base para planificar la acción concertada del cambio
La organización social comienza por mapear los intereses de las partes interesadas en todos los niveles, antes de crear plataformas para que estas planifiquen y tomen de decisiones participativas. Facilitadores de procesos con experiencia ayudan a conciliar los intereses de los diferentes actores por medio de la negociación. Una base de información acordada ayuda a todas las partes interesadas a comprender el alcance y las causas de los problemas de las aguas subterráneas y a participar en el diálogo, lo cual conduce, mediante el desarrollo de ideas y creación de escenarios, a una planificación detallada de la acción concertada. El aprendizaje a lo largo del proceso ayuda a corregir errores y ofrece lecciones sobre cómo hacer las cosas de forma diferente en el futuro

6. Emprendiendo acciones en la gestión de aguas subterráneas

La gestión sostenible de las aguas subterráneas requiere de una acción conjunta
Es necesario tener un cambio de paradigma en la gestión de aguas subterráneas, pasando de un abordaje tecnocrático al uso de sistemas de conocimientos colaborativos y participativos. Los usuarios de aguas subterráneas, especialistas técnicos, científicos y decisores deben trabajar conjuntamente. Con el apoyo de facilitadores, y respaldados por resultados, aprendizaje y comunicación, ellos deben colaborar para alinear el conocimiento sobre aguas subterráneas, las reformas de gobernanza, los incentivos económicos, la inversión y organización social.

La gestión debe estar incorporada en estrategias integrales para el cambio
Las agencias gubernamentales, científicos y ONGs deben contribuir en el diseño y despliegue de campañas públicas de información para crear conciencia sobre las amenazas a las aguas subterráneas que requieren de acción urgente. Por sí solo, esto no conducen al cambio. Los defensores de las aguas subterráneas sostenibles deben ir más allá y crear coaliciones para la acción que lideren estrategias para el cambio. Estas deben empoderar a las partes interesadas a todo nivel para que tomen acción, y a la vez facilitar la comunicación y el intercambio de conocimiento de doble vía entre los usuarios locales y actores en niveles superiores para la transformación a gran escala de la gestión de aguas subterráneas.

Los agentes de cambio para la gestión de las aguas subterráneas deben movilizarse en todos los niveles
Los usuarios de aguas subterráneas –mujeres, hombres, jóvenes y los usuarios en todos los sectores– deben formar parte del proceso del cambio en la gestión de aguas subterráneas, ya que ellos, a fin de cuentas, deben acordar la implementación de las acciones, planes y regulaciones de gestión que han sido acordadas. Los usuarios de aguas subterráneas necesitan de la ayuda de especialistas técnicos para tomar acciones acordadas, así como también para informar a y recibir el apoyo de los decisores. Los especialistas técnicos juegan un rol crítico como agentes de conocimiento para ayudar a construir consenso. Los decisores y actores políticos en los ministerios, órganos legislativos e instituciones financieras brindan el marco político y legal, y asignan fondos que permiten que los usuarios de aguas subterráneas e instituciones técnicas puedan emprender acciones en cada nivel. Ellos tienen una visión sobre cómo encaja la legislación de aguas subterráneas dentro del marco de gestión más amplio, y promueven el diálogo a niveles superiores sobre cómo integrar la sostenibilidad del manejo de las aguas subterráneas en las prioridades sociales, económicas y medioambientales más grandes.

Sin la participación política, no es posible cumplir con la meta de una gestión sostenible de las aguas subterráneas
Los defensores y promotores de la gestión sostenible de las aguas subterráneas necesitan que quienes poseen poder político comprendan la situación y tomen acciones sobre problemas actuales y futuros asociados con las aguas subterráneas. Los voceros necesitan construir el argumento social y el caso económico para el manejo de las aguas subterráneas y presentar evidencia de ello. Necesitan formar líderes de aguas subterráneas y trabajar con ellos en coaliciones para el cambio. Los líderes necesitan información y evidencia que puedan utilizar para justificar la acción con un peso político: si no se emprenden acciones de manejo sostenible de las aguas subterráneas, entonces esta inacción conllevará costos a nivel nacional y global que afectarán el crecimiento económico, la reducción de la pobreza, la seguridad alimentaria, el agua potable segura, la biodiversidad y la resiliencia al cambio climático.

Prólogo

Imperios han tenido su apogeo y decadencia debido al agua subterránea. Ninguna otra región narra a cabalidad esta trayectoria como la historia del Medio Oriente —y ningún otro país conoce mejor este destino que Jordania, una de las regiones más secas de la Tierra. Hoy día, la importancia del agua subterránea no mengua, sino más bien la gravedad de las amenazas al agua subterránea sigue aumentando.

Garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos es un gran desafío. Lo perciben los hogares y las fincas, en la sosegada naturaleza y las estruendosas mega ciudades, en salas de reuniones y gabinetes. Satisfacer las necesidades hídricas de la población del mundo y los ecosistemas es un problema complejo. No existen soluciones simples. Sin embargo, existen soluciones. Un futuro con seguridad hídrica depende de buena ciencia, aumento en el financiamiento y manejo de recursos hídricos que reúne a los pueblos, sectores y países bajo una causa común. Ello requiere de cooperación e instituciones capaces para reducir la contaminación, la adaptación al cabio climático, protegernos de desastres relacionados con el agua, conservar la biodiversidad y abastecer a toda la población, en cualquier lugar, con agua segura.

No debería sorprendernos que además de estos múltiples aspectos del agua, las aguas subterráneas —invisibles y silenciosas—a menudo son ignoradas.

Esto debe cambiar. Casi toda el agua dulce que tenemos está bajo tierra, y la mitad del agua que bebemos proviene de acuíferos. La gestión y el uso consciente del recurso de aguas subterráneas es, indiscutiblemente, la máxima prioridad para satisfacer las necesidades básicas del ser humano. No obstante, junto al emergente entendimiento de las estrechas interdependencias entre el agua y el desarrollo, estas necesidades aún van más allá de lo concebido. La gestión de las aguas subterráneas es un requisito esencial en las estrategias para afrontar las amenazas de una futura escasez de agua, energía y alimento. Es crítica para optimizar soluciones en el nexo entre agua-energía-alimento y la seguridad humana y, por tanto, para desarrollar mayores capacidades para la resiliencia. En el Levante mediterráneo, esto requiere del establecimiento de una comisión supranacional para el agua y energía que tome en consideración los enfoques centrados en el ser humano. Potenciar la energía renovable mediante una gobernanza con planificación administrativa y espacial, ejercería una gran influencia en la región. Es posible alcanzar esto mediante el lanzamiento de una Iniciativa de Energía Limpia a nivel regional que integre grandes cantidades de electricidad renovable en el Levante mediterráneo.

El cambio climático se suma a la urgencia de elevar la prioridad de la gestión de las aguas subterráneas y mejorar su efectividad. Sequías más frecuentes o intensas incrementarán el repliegue del agua subterránea a la vez de reducir la recarga de los acuíferos. Las consecuencias de la inacción en regiones secas que dependen del agua subterránea serán severas, y conllevará de compactación irreversible del acuífero reduciendo los niveles del agua subterránea y la pérdida de su capacidad de almacenamiento.

Las aguas subterráneas no pueden ser invisibles en la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Son vitales para combatir la escasez hídrica y, por consiguiente, para el éxito primordial de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En el Medio Oriente, la cooperación regional en la gestión de las aguas subterráneas será clave para esta agenda, así como también para superar la inestabilidad y crisis humanitaria en una región con inseguridad hídrica.

Yo exhorto a todas aquellas personas comprometidas con la construcción de un futuro sostenible con seguridad hídrica a que utilicen este libro para promover el mensaje sobre la urgencia de detener la sobreexplotación y contaminación de las aguas subterráneas. ACUÍFEROS presenta conceptos, herramientas y estrategias que hacen de la gestión sostenible de las aguas subterráneas una meta alcanzable.

ACUÍFEROS nos muestra cómo tratar al agua subterránea como un tesoro.

Su Alteza Real, el Príncipe El Hassan bin Talal
Presidente del Instituto WANA

Editores y autores

Editado por Mark Smith (UICN), Katharine Cross (Asociación Internacional del Agua), Mary Paden (Comisión de Educación y Comunicación de UICN) y Peter Laban (Comisión de Gestión de Ecosistemas de UICN).

Capítulo 1 Dr. Mark Smith y Peter Laban (Principal, Grupo Temático de Ecosistemas de Tierras Secas, UICN – Comisión de Gestión de Ecosistemas)

Capítulo 2 Dr. Alan MacDonald (Hidrogeólogo principal, Servicio Geológico Británico) y el Dr. Stephen Foster (Asesor Sénior, Asociación Mundial para el Agua y Profesor Invitado, Colegio Universitario de Londres)

Capítulo 3 Stefano Burchi (Secretario Ejecutivo, Asociación Internacional de Derecho de Aguas) y Juan Carlos Sánchez (UICN)

Capítulo 4 Dr. Stephen Foster y Lucy Emerton (Director, Economía y Finanzas, Grupo de Gestión Ambiental)

Capítulo 5 Peter Laban

Capítulo 6 Dr. Frank van Steenbegen (Director, Metameta) Nawal El Haouari (Ministerio de Agricultura, Marruecos) y Peter Laban

Reconocimientos

Desarrollar el kit de herramientas ACUÍFEROS ha sido toda una maratón que inició en el 2010. Katherine Cross presentó el caso en ese entonces para una publicación de UICN sobre la gestión de aguas subterráneas, debido a las amenazas para la seguridad hídrica del ser humano y la biodiversidad a partir de la degradación de las aguas subterráneas. Ella lideró la planificación del libro, identificó contribuyentes y coordinó la redacción y el proceso de edición inicial. Espero que hayamos logrado cumplir su visión original de un libro que guíe a los usuarios sobre cómo integrar la ciencia de las aguas subterráneas, las herramientas de gobernanza, la organización social y la economía para impulsar la acción transformadora para la sostenibilidad de las aguas subterráneas.

Yo estoy profundamente agradecido con todos los autores que hicieron sus aportes a ACUÍFEROS. La producción del libro sufrió una serie de atrasos después del 2011. Mis agradecimientos a cada uno de ellos por su extrema paciencia y apoyo gentil y profesional, cuando por fin logré terminar de editar ACUÍFEROS en el 2016.

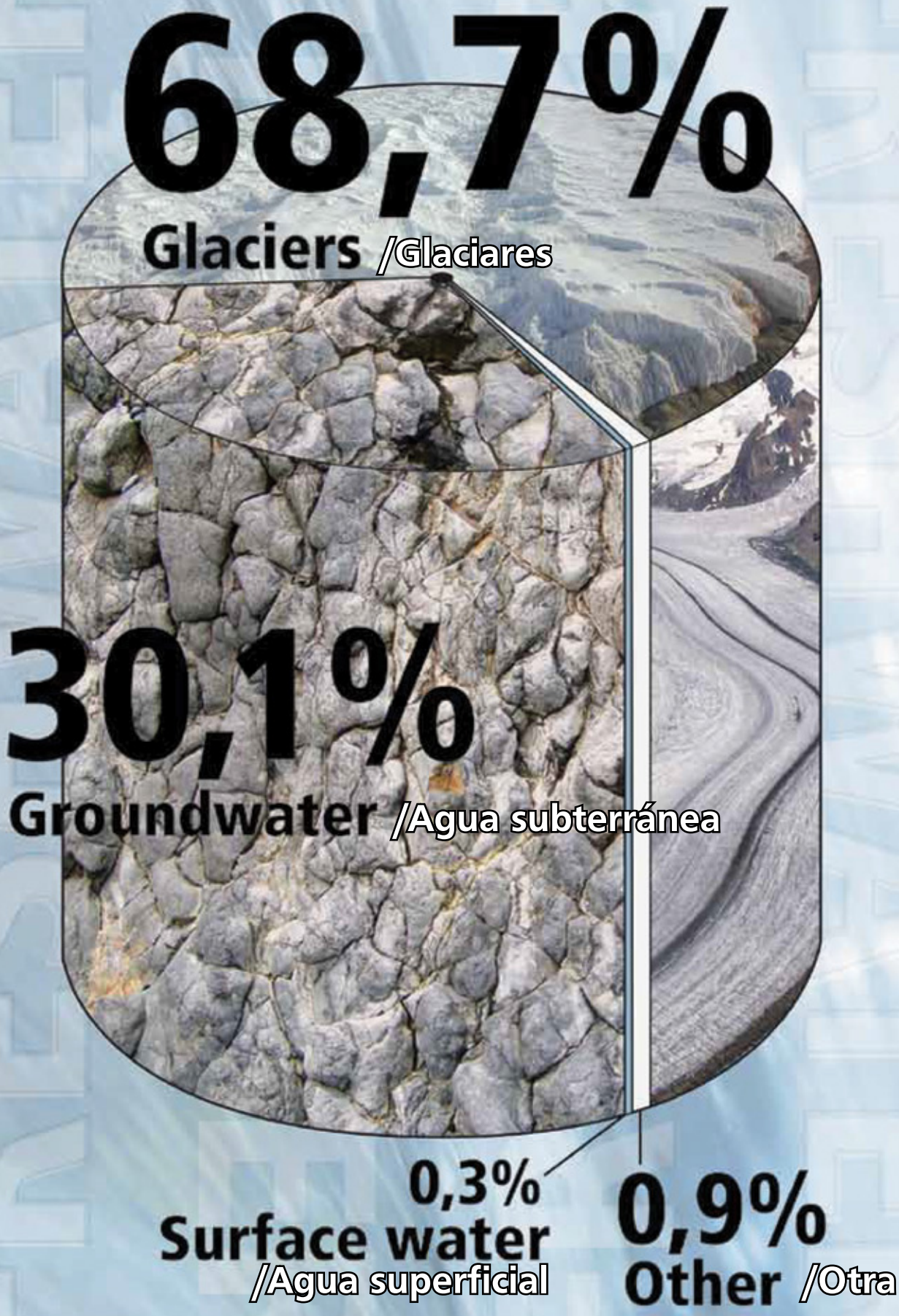
Muchos otros hicieron aportes importantes a ACUÍFEROS. Agradezco a Mary Paden por sus valiosos consejos y habilidades de edición que ayudaron a tejer los capítulos de ACUÍFEROS en un texto cohesivo. Los aportes editoriales y organizacionales de Megan Cartin, Magali Rouaud y María Carreño Lindelien, cuyo apoyo al desarrollo y producción final de ACUÍFEROS fue siempre excelente.

Mi agradecimiento también para Melanie Kandelaars por sus diseños creativos para otro kit de herramientas WANI –este es su séptimo– y por el espíritu colaborativo en la preparación de los diseños finales. También estoy agradecido con Gill Tyson por el tipo de asistencia que les brindó a los autores y por haberme ayudado a preparar y finalizar los diagramas técnicos de los Capítulos 2 y 4.

A Peter Laban, le expreso mi agradecimiento personal porque su motivación fue el impulso final que nos llevó a finalizar ACUÍFEROS y por su estrecha colaboración en la revisión y edición final del libro.

Por último, hubo un retraso notable entre la redacción inicial de los capítulos en el 2010-2011 y la publicación final en el 2016. Los autores fueron capaces de brindar información actualizada en la revisión final de los capítulos, pero la responsabilidad de cualquier disparidad que encuentren los lectores con información reciente es enteramente mía.

Mark Smith
Editor principal

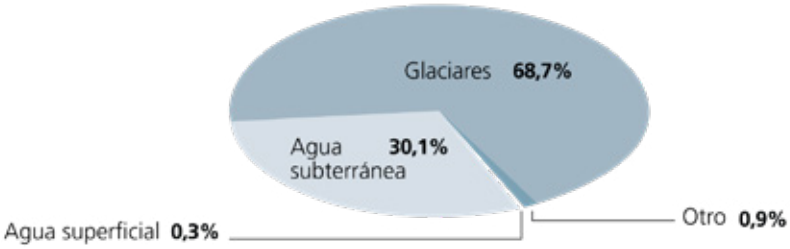

68,7%
Glaciers /Glaciares
30,1%
Groundwater /Agua subterránea
0,3%
Surface water
/Agua superficial
0,9%
Other /Otra

Retos y riesgos de las aguas subterráneas

1.1 La urgencia global de la gestión sostenible de las aguas subterráneas

Hidrogeólogos —científicos que se especializan en el estudio de aguas subterráneas— tienden a recordarles a las personas que la mayoría del agua dulce disponible del mundo se encuentra bajo tierra. Las represas, los embalses y el riego encabezan la lista de prioridades para el desarrollo de infraestructura hídrica. Los ríos, humedales y lagos son las imágenes que se utilizan para motivar la conservación del agua dulce. Las cuencas hidrográficas son los objetivos primarios de la gestión integrada de recursos hídricos. Sin embargo, los hidrogeólogos suscitan constante sorpresa cuando afirman que el 96% del agua dulce, excluyendo el agua congelada de los glaciares, está almacenada en los acuíferos (Figura 1.1). Es la fuente más abundante de agua dulce en la Tierra[1]. Dado que pasa desapercibida y está oculta bajo tierra, el agua subterránea es el pariente desamparado de los recursos hídricos superficiales. Las aguas subterráneas no reciben ni la prioridad ni atención necesaria para garantizar que se mantendrán los beneficios que ofrecen a las sociedades humanas y ecosistemas alrededor del mundo.

Figura 1.1 La distribución del agua dulce en la Tierra[2]



"EL 96% DEL AGUA DULCE, EXCLUYENDO EL AGUA CONGELADA DE LOS GLACIARES, ESTÁ ALMACENADA EN LOS ACUÍFEROS."

Se estima que el volumen total de agua dulce almacenada en la Tierra oscila entre los 8 y 10 millones de km3. El total de agua subterránea extraída anualmente a nivel mundial en el 2010 fue de aproximadamente 1000km^3 o aproximadamente un 26% de toda la extracción de agua dulce en el mundo.[3] De toda el agua subterránea extraída, 67% se utilizó para riego, 22% para propósitos domésticos y 11% para la industria (ver Tabla 1.1).[4] El agua subterránea provee casi el 50% de toda el agua potable del mundo y 43% de toda el agua consumida para riego en agricultura. Se estima que 2.5 mil millones de personas dependen exclusivamente del agua subterránea para su abastecimiento de agua potable.[5] El uso y la calidad del agua subterránea están íntimamente vinculados a la salud, medios de vida y seguridad alimentaria de la población humana, así como también vinculados al desarrollo económico y la prosperidad. Debido a las interacciones hidrológicas entre las aguas subterráneas, los ríos y humedales, la salud de muchos ecosistemas acuáticos depende de la condición y funcionamiento de los acuíferos.[6] La incapacidad de manejar sosteniblemente el agua subterránea pone en riesgo enormes beneficios para el bienestar del ser humano, el desarrollo sostenible y la conservación de la biodiversidad.

Tabla 1.1 Estimaciones de la extracción mundial de agua subterránea[7]

Continente	Extracción de agua subterránea					Comparación con la extracción total de agua	
	Riego km³/año	Doméstico km³/año	Industrial km³/año	Total km³/año	Total %	Extracción Total de Agua km³/año	Porción de Agua Subterránea %
Norteamérica	99	26	18	143	15	524	27
Centroamérica y El Caribe	5	7	2	14	1	149	9
Sudamérica	12	8	6	26	3	182	14
Europa (incl. Rusia)	23	37	16	76	8	497	15
África	27	15	2	44	4	196	23
Asia	497	116	63	676	68	2257	30
Oceanía	4	2	1	7	1	26	25
Mundial	**666**	**212**	**108**	**986**	**100**	**3831**	**26**

Los recursos de agua subterránea están bajo presión. Su extracción global se ha triplicado como mínimo en los últimos 50 años y continúa incrementando a una tasa anual de 1 al 2%.[8] Los niveles de agua subterránea han decrecido en 21 de los 37 sistemas de acuíferos más grandes del mundo, entre los años 2003 y 2013.[9] Sin embargo, la extracción de agua no está distribuida uniformemente y se concentra en especial en regiones áridas y semiáridas en el mundo, donde el crecimiento demográfico y la expansión de la agricultura de riego han conducido al aumento acelerado de la demanda de agua. La sobreexplotación de las reservas de aguas subterráneas ha causado una disminución significativa de los niveles del agua subterránea en acuíferos importantes, tales como:

- el Valle Central de California y Altas Planicies de los Estados Unidos,
- la cuenca alta del Guadiana de España,
- el Sahara Occidental y Piedra Arenisca de Nubia en África del Norte,
- la península arábiga y el Levante mediterráneo,
- las cuencas del Indo y Ganges y del centro y sur de India,
- la Llanura del Norte de China y
- la Gran Cuenca Artesiana de Australia.

" LOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA ESTÁN BAJO PRESIÓN."

Los decrecientes niveles de agua subterránea en regiones como las mencionadas son una advertencia que las tasas de extracción no son sostenibles. Por ejemplo, los niveles de agua subterránea a lo largo del acuífero de las Altas Planicies, el cuál abastece agua para el riego de la agricultura de gran valor a lo largo de 450.000km² que corren desde Dakota del Sur hasta Texas en los Estados Unidos y agua potable para 2.3 millones de personas, han disminuido en un promedio de 4.3 m. En algunos lugares, los niveles de agua subterránea han disminuido en 60 metros. La reducción severa de los niveles de agua subterránea es similar en otras regiones del mundo que son críticas para la seguridad alimentaria mundial, incluyendo la Llanura del Norte de China, los estados indios de Rayastán, Guyarat, Punyab, Haryana y Andhra Pradesh y Australia del Este.[10] Tal disminución aumenta el costo de las aguas subterráneas a la vez que reduce los caudales de los ríos y causa la degradación de los ecosistemas ribereños y humedales. Amenaza la viabilidad a largo plazo de las economías basadas en el riego de dichas regiones y, por consiguiente, pone también en riesgo la seguridad alimentaria mundial. La sobreexplotación de agua subterránea, así como también la contaminación debido a

polución o intrusión salina, amenazan el abastecimiento de agua potable para cientos de millones de personas. La degradación de los recursos de aguas subterráneas también reduce el rol compensador contra la sequía y escasez hídrica, una de las funciones de las reservas de aguas subterráneas crítica para la sostenibilidad de ecosistemas y, por consiguiente, para la conservación de la biodiversidad, así como también para la adaptación y resiliencia al cambio climático.

1.2 Aguas subterráneas para el desarrollo sostenible

La importancia de las aguas subterráneas en el desarrollo social y económico suele ser ignorada debido a que es un recurso oculto. Decisores de los gobiernos, inversionistas o productores locales con frecuencia subestiman el valor de las aguas subterráneas en la economía y para el desarrollo económico, ya que asumen que los manantiales y pozos, de los cuales dependen, continuarán abasteciéndolos con agua dulce de alta calidad para siempre. De seguir con estos supuestos, se perderán los beneficios del agua subterránea para el desarrollo.

Cuando la gestión de las aguas subterráneas es sostenible, sus contribuciones se reflejan en múltiples dimensiones del desarrollo sostenible. La gestión sostenible de las aguas subterráneas puede asegurar el abastecimiento de agua resiliente al clima para ayudar a cumplir las metas de seguridad alimentaria, desarrollo energético y acceso al agua potable. Puede abastecer de agua a las ciudades sostenibles y la industria.

La gestión sostenible de acuíferos es clave para la conservación de ecosistemas dependientes de las aguas subterráneas en áreas de descarga. Algunos ejemplos son los ríos y lagos, bosques húmedos y sabanas arboladas de raíz profunda. Pantanos, ciénagas y marjales en zonas de turberas dependen del agua subterránea, y los ecosistemas costeros, tales como marismas y manglares, pueden depender del flujo de agua subterránea.

Imagen 1.1. El Oasis de Azraq, Jordania, es un ecosistema dependiente de aguas subterráneas que está amenazado por la sobre extracción.

Cambios en los niveles de agua subterránea o la cantidad, tiempos o calidad de la descarga de agua subterránea son factores que causan la degradación y pérdida de biodiversidad de los ecosistemas antes mencionados.[11] La gestión sostenible de las aguas subterráneas es una parte importante de las

estrategias efectivas para la conservación de biodiversidad en aquellos ecosistemas que dependen de aguas subterráneas.

Los ecosistemas también son importantes en las áreas de recarga de agua subterránea. Por ejemplo, cambios en la cobertura vegetal de pastizales y bosques, o contracción de humedales, puede disminuir la cantidad de agua que alimenta a un acuífero. En áreas de recarga de aguas subterráneas, es necesario un buen manejo del ecosistema para la gestión sostenible de las aguas subterráneas. Por ende, la relación entre las aguas subterráneas y los ecosistemas funciona en dos vías, y la gestión de las aguas subterráneas y el manejo de ecosistemas se traslapan. Al trabajar en armonía, afianzan la continuidad de la disponibilidad de servicios ecosistémicos de las aguas subterráneas y de los ecosistemas que dependen de ellas. Entre los beneficios para las poblaciones, garantizados mediante la gestión de ecosistemas asociados con aguas subterráneas, incluyen, por ejemplo, el abastecimiento hídrico, la filtración de agua, las pesquerías, las atracciones turísticas y la producción agrícola.

"LA GESTIÓN DE ACUÍFEROS ES CLAVE PARA LA CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS DEPENDIENTES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS."

1.3 Gestión de aguas subterráneas: un cambio necesario

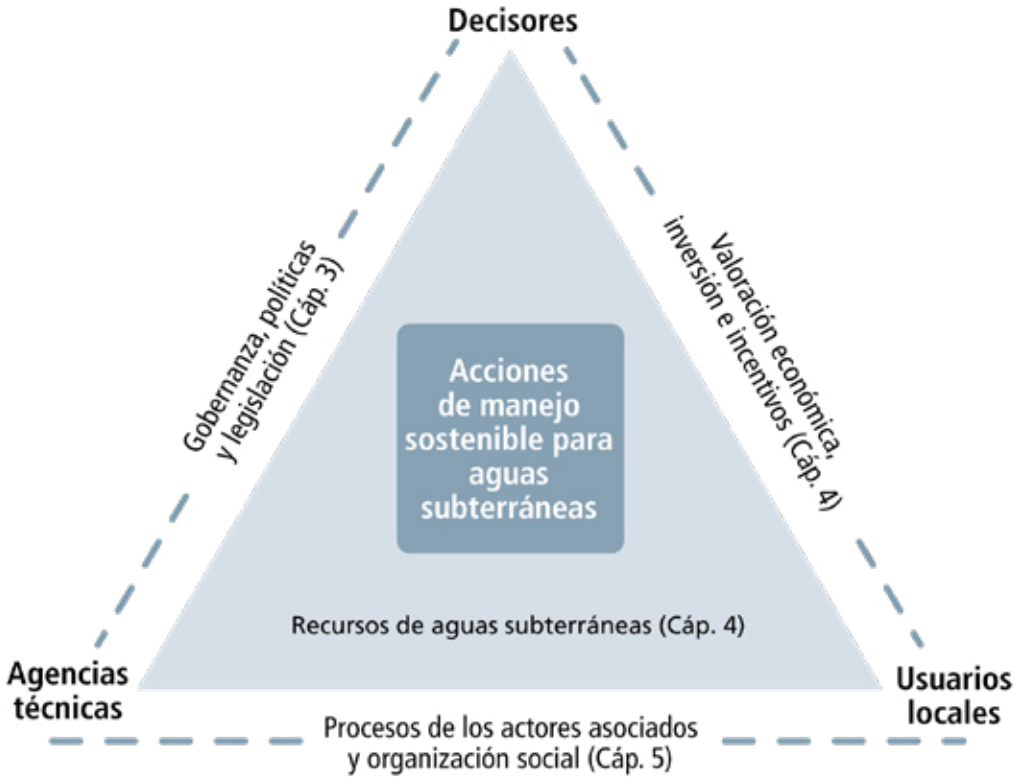
Los capítulos de ACUÍFEROS construyen una agenda del cambio para la gestión de aguas subterráneas. ACUÍFEROS es una guía sobre cómo los usuarios y gestores, hidrogeólogos, voceros de la gestión sostenible de las aguas subterráneas y decisores, entre otros, pueden implementar herramientas y dar los pasos necesarios para la transición de las prácticas habituales y la sobreexplotación de acuíferos hacia una gestión sostenible de las aguas subterráneas. ACUÍFEROS es una guía práctica sobre las funciones que deben tener estos grupos y cómo pueden trabajar conjuntamente en coaliciones para traducir el Marco 2016 para alcanzar la Visión Global Compartida para la Gobernanza de las Aguas Subterráneas en procesos efectivos del cambio.

"LA NECESIDAD DE LA ACCIÓN ES URGENTE."

La estructura de ACUÍFEROS dispone los principios y las acciones necesarias para implementar un enfoque colaborativo del manejo sostenible de aguas subterráneas (Figura 1.2). La gestión de las aguas subterráneas es una actividad interdisciplinaria que no solo depende de conocimientos especializados sobre acuíferos y sus características técnicas, sino que también de aspectos económicos, políticas efectivas y marcos legales. El conocimiento de todas estas áreas brinda los fundamentos técnicos para el manejo, las buenas políticas y leyes —incluyendo mecanismos para el cumplimiento y su aplicación— e incentivos económicos para viabilizar la inversión en emprendimientos rentables. Además, para que la gestión de las aguas subterráneas sea sostenible y alcance con éxito sus objetivos, es fundamental que los usuarios de éstas participen en el diseño de la gobernanza, los programas de incentivos y las prácticas de manejo. De lo contrario, la gestión de las aguas subterráneas continuará siendo una actividad tecnocrática de arriba hacia abajo con resultados insatisfactorios. La implementación de una buena gestión tiene éxito solo si los mismos usuarios de aguas subterráneas acuerdan implementar las acciones requeridas. Por lo tanto, ACUÍFEROS también orienta procesos para mejorar la organización social y participación de los actores asociados en la gestión de aguas subterráneas. Por último, ACUÍFEROS ofrece pautas sobre cómo movilizar la implementación. Los capítulos de ACUÍFEROS están estructurados de la siguiente forma:

- Capítulos 2 - 4: principios y herramientas fundamentales (hidrogeología, gobernanza, economía)
- Capítulo 5: cómo organizar a los usuarios de aguas subterráneas para utilizar y aplicar el conocimiento, y
- Capítulo 6: orientación sobre cómo catalizar y movilizar los procesos de cambios.

Figura 1.2 Modelo colaborativo para la gestión sostenible de las aguas subterráneas, donde los actores trabajan conjuntamente para aplicar las herramientas y así catalizar e implementar acciones para el manejo de las aguas subterráneas.



Para lograr la gestión sostenible de las aguas subterráneas se requiere que los usuarios locales, especialistas técnicos y decisores trabajen conjuntamente (Figura 1.2). Cada uno juega un papel definido, ya sea a nivel local, de cuenca, nacional o internacional, para impulsar las estrategias de cambio necesarias, así como también los actores involucrados trabajan de forma colaborativa para implementar las herramientas y acciones necesarias. El paradigma antiguo de la gestión de aguas subterráneas, el cual favorece el control por parte de las agencias técnicas, debe cambiar si las aguas subterráneas van a responder a las expectativas de sus contribuciones para el desarrollo sostenible, la conservación de biodiversidad y la resiliencia al cambio climático.

Es urgente actuar. Las presiones sobre los acuíferos acumulan costos y riesgos para la sociedad y los ecosistemas, los cuales son evidentes, por ejemplo, en la falta de acceso a agua segura, la degradación del suelo, la pérdida de medios de vida rurales, la vulnerabilidad climática y la pérdida de biodiversidad. ACUÍFEROS traza lineamientos sobre cómo los diferentes actores, incluyendo usuarios locales de aguas subterráneas, técnicos, científicos y decisores, pueden trabajar conjuntamente de forma práctica para implementar estrategias colaborativas, participativas y con múltiples actores para catalizar y gestionar el cambio necesario para la gestión sostenible de las aguas subterráneas.

Sistemas de aguas subterráneas

2.1 Conocimiento de aguas subterráneas: el punto de partida para las soluciones de manejo

El agua subterránea es un recurso vulnerable. Mientras se desarrollan planes para bombear grandes cantidades de agua, y con el surgimiento de contaminantes particularmente persistentes, el recurso debe ser protegido y manejado (ver Tabla 2.1). Pese a la función crucial que tiene el agua subterránea en el mantenimiento de ecosistemas y abastecimiento de agua, el recurso sigue siendo poco comprendido y, por consiguiente, es manejado deficientemente en muchas partes del mundo. Cuando las cosas salen mal, el daño puede ser duradero e incluso permanente. Por ejemplo, en la Franja de Gaza, el bombeo excesivo y la constante contaminación a largo plazo por efluentes urbanos y prácticas agrícolas inadecuadas han causado que parte del agua subterránea no sea apta para consumo humano ni para uso agrícola. Incluso si se detiene el bombeo y la contaminación en la actualidad, tomaría cientos de años para eliminar la contaminación y la intrusión de agua salina del sistema de agua subterránea. Algunos recursos de agua subterránea se acumularon durante varios eones y dejaron de ser reabastecidos (p. ej. muchos de los acuíferos de piedra arenisca en África del Norte). Por lo tanto, usarlos es comparable a la extracción de minerales no renovables.

Si todos los sistemas de aguas subterráneas fuesen iguales, su gestión sería simple. Sin embargo, los sistemas de aguas subterráneas varían considerablemente, lo cual significa que responden de forma diferente a las presiones y, por consiguiente, requieren de distintas soluciones de manejo.

Un punto de partida vital para mejorar el manejo de los sistemas de aguas subterráneas es desarrollar un entendimiento técnico sobre su funcionamiento. Por ejemplo:

- el tipo de rocas que forman un buen acuífero,
- por qué algunos acuíferos se recargan de forma natural mientras que otros no,
- cómo determinar cuánta agua puede extraerse de manera sostenible de un acuífero y
- qué tipos de acuíferos corren el mayor riesgo de contaminación.

Con este tipo de conocimiento, y con el respaldo de un monitoreo efectivo, las comunidades y gestores del recurso subterráneo pueden definir visiones y planes razonables para la gestión de las aguas subterráneas e identificar las acciones de manejo necesarios.

Tabla 2.1 Ventajas y limitaciones del uso de los acuíferos para el aprovisionamiento de agua[13]

Ventajas del agua subterránea	Limitaciones
• El agua subterránea a menudo se encuentra cerca de donde se requiere.	• El agua subterránea no es omnipresente y en algunas situaciones puede requerir de un esfuerzo considerable para ubicar sitios idóneos para pozos.
• El agua subterránea puede desarrollarse a un costo relativamente barato, de forma progresiva para satisfacer la demanda y con una inversión de capital baja a diferencia de muchos esquemas de aguas superficiales.	• A medida que incrementa la cobertura, las áreas que quedan son las más difíciles y cuyo abastecimiento es más costoso.
• El agua subterránea, en general, tienen una excelente calidad natural y es usualmente apta como abasto de agua potable, con muy poco o sin tratamiento.	• Algunas áreas poseen problemas naturales de calidad, tal como altos niveles de fluoruro y arsénico.
• El agua subterránea tiene una cubierta de protección que le brinda el suelo y la zona no saturada.	• A medida que incrementa con rapidez el desarrollo, la contaminación puede exceder la capacidad del suelo para atenuar los contaminantes .
• El agua subterránea generalmente está disponible en tiempos de sequía del agua superficial.	• El aumento de la demanda de agua subterránea resulta en la sobreexplotación del recurso. El cambio climático puede reducir la recarga en algunas áreas.

2.2 Cómo funcionan las aguas subterráneas

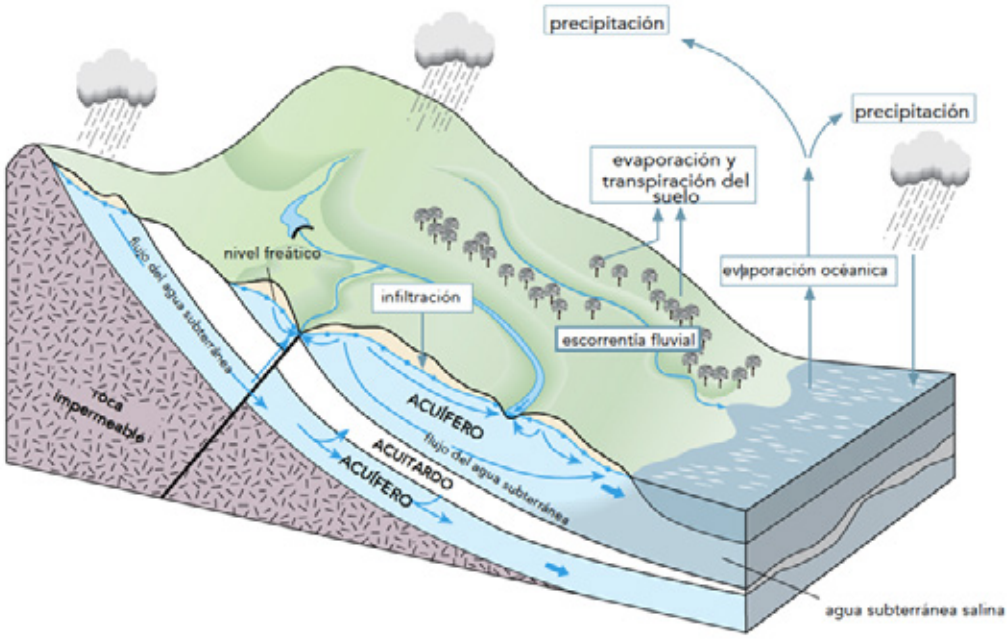
2.2.1 Sistemas de aguas subterráneas

Para comprender cómo identificar y diagnosticar los problemas del agua subterránea, es necesario tener un entendimiento básico del ciclo hidrológico natural de la Tierra, del cual el agua subterránea es una parte integral, pero a menudo ignorada (ver Figura 2.1). El ciclo, impulsado por la energía del sol, toma el agua de la tierra y los océanos y la transfiere a través de la atmósfera de regreso a los océanos mediante varias rutas. Cuando cae lluvia en la superficie terrestre, parte de la lluvia se infiltra en el suelo y el resto se evapora o corre hacia los ríos. La mayoría del agua almacenada como humedad del suelo, la absorben las raíces de las plantas y asciende hacia las hojas donde se libera de regreso a la atmósfera a través de la transpiración, o fluye rápidamente a un río (en cuestión de días o años).

"EL AGUA SUBTERRÁNEA TIENE UN ROL VITAL EN EL MANTENIMIENTO DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS."

Sin embargo, parte del agua se infiltra profundamente en el suelo y con el tiempo se acumula sobre una capa impermeable, saturando cualquier espacio poroso disponible en las rocas y formando así un acuífero subterráneo. Un acuífero es una capa subterránea de roca saturada con agua o de material suelto (grava, arena o limo). El agua subterránea fluye lentamente (años, décadas e incluso milenos) por gravedad a través de los poros y grietas de la roca hasta finalmente descargar y brotar en manantiales, ríos, lago o el mar. La Figura 2.1 muestra un acuífero poco profundo sobre un estrato semipermeable (un acuitardo) y un acuífero entre el acuitardo y una capa impermeable de roca.

Figura 2.1 Acuífero en un sistema hidrológico amplio[14]

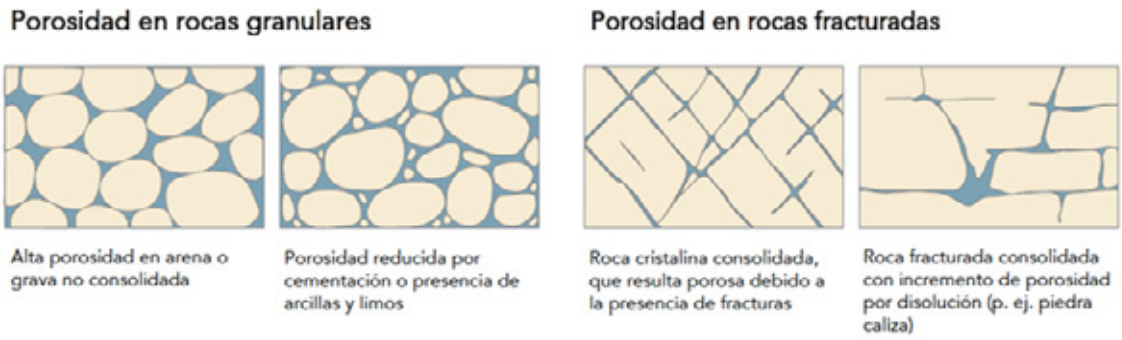


El agua subterránea tiene un rol vital en el mantenimiento de ecosistemas acuáticos. Brinda una descarga anual y regular hacia arroyos, ríos y humedales, manteniendo el caudal durante estaciones secas y sequías. En algunas cuencas de tierras bajas, el agua subterránea puede llegar a constituir el 90% del caudal de un río durante períodos secos. Incluso en cuencas de tierras altas, donde los depósitos de agua subterránea son limitados, 30% del caudal de un río pudo haber fluido por rocas como agua subterránea.

2.2.2 Acuíferos y almacenamiento de agua subterránea

Aunque cierta agua subterránea puede encontrarse en lagos subterráneos o fosas grandes, la gran mayoría está almacenada dentro de los espacios porosos y grietas de rocas. Las características de la roca (ver Figura 2.2) determinan la capacidad de almacenamiento y productividad de un acuífero. Se dice que las rocas con muchos huecos que pueden retener agua son porosas y si los poros y grietas están unidos a tal grado que el agua puede fluir con facilidad, entonces se dice que las rocas son permeables. Los sedimentos granulares sueltos, tales como arenas o grava, son altamente porosos y el contenido de agua en estos acuíferos puede exceder el 30% de su volumen. La porosidad disminuye gradualmente debido a la proporción de material fino (tal como limo o arcilla) y a la consolidación bajo presión de sedimentos en roca sólida. En rocas sedimentarias altamente consolidadas, la porosidad puede ser menor al 10%. Las rocas sedimentarias menos permeables son las arcillas, que por lo general no permiten que el agua subterránea fluya a través de ellas y, por tanto, actúan como barreras del movimiento del agua subterránea. Algunas rocas sedimentarias (tal como la piedra caliza) son solubles. En las rocas solubles, las grietas se agrandan a medida que el agua subterránea fluye a través de ellas, disolviendo lentamente la roca para formar cavernas y cavidades donde el agua subterránea fluye con rapidez en 'ríos subterráneos' discretos.

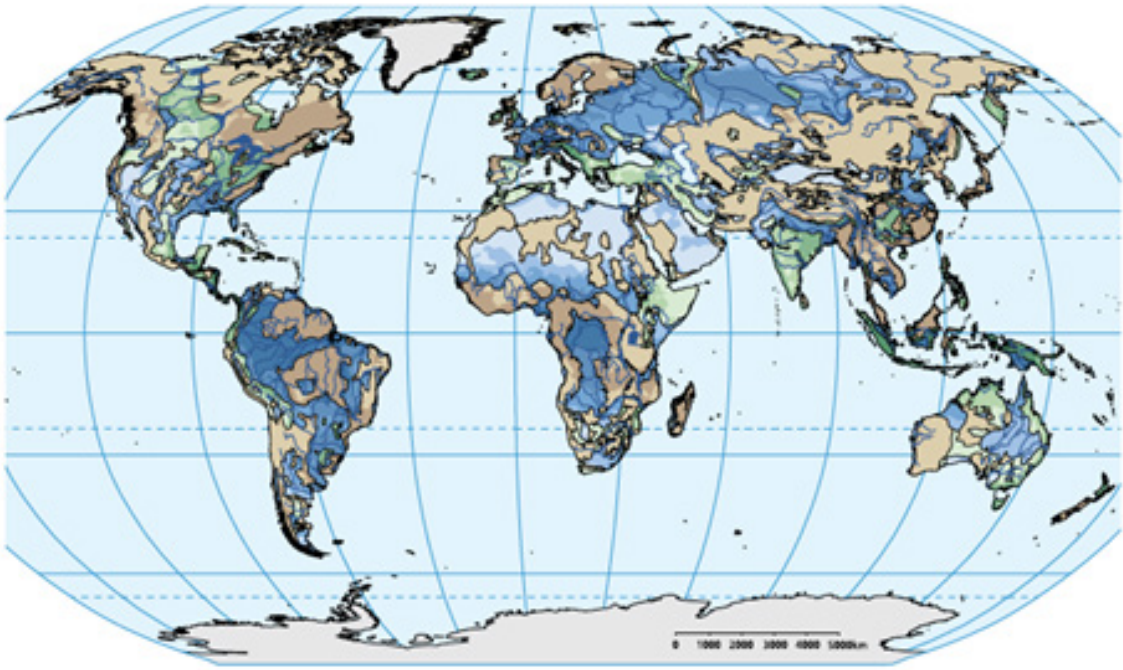
Figura 2.2 Textura y porosidad de la roca en acuíferos comunes[15]



En rocas cristalinas, tales como rocas ígneas o metamórficas, el agua subterránea solo se encuentra en las grietas (o fracturas) y rara vez exceden el 1% del volumen de la masa rocosa. Estas rocas son comunes; por ejemplo, cubren aproximadamente 34% del área terrestre de África. Afortunadamente, estas rocas están erosionadas hasta una profundidad de 20 metros o más, formando una capa de suelo con agua subterránea almacenada en las arenas, gravas y roca descompuesta resultantes. En rocas cristalinas no erosionadas, el agua subterránea se encuentra solo en áreas donde la roca está fracturada.

A mayor profundidad, las rocas sufren más compresión por el peso de las rocas y suelo que está encima y, por ende, los poros y las fracturas se cierran más. Se desconoce hasta qué profundidad es posible encontrar agua subterránea, pero se cree que el límite usual es hasta 1 km de profundidad. La mayor parte de la extracción de agua subterránea se realiza a poca profundidad, pero cada vez más se observan ejemplos de extracción para usos de alto valor a profundidades de 150-500m. La Figura 2.3 muestra un mapa global con los principales tipos de acuíferos.

Figura 2.3 Mapa del recurso de aguas subterráneas en el mundo, ilustrando las cuencas de aguas subterráneas principales (azul), las estructuras hidrogeológicas complejas (verde) y acuíferos locales y de poca profundidad (café)[16]



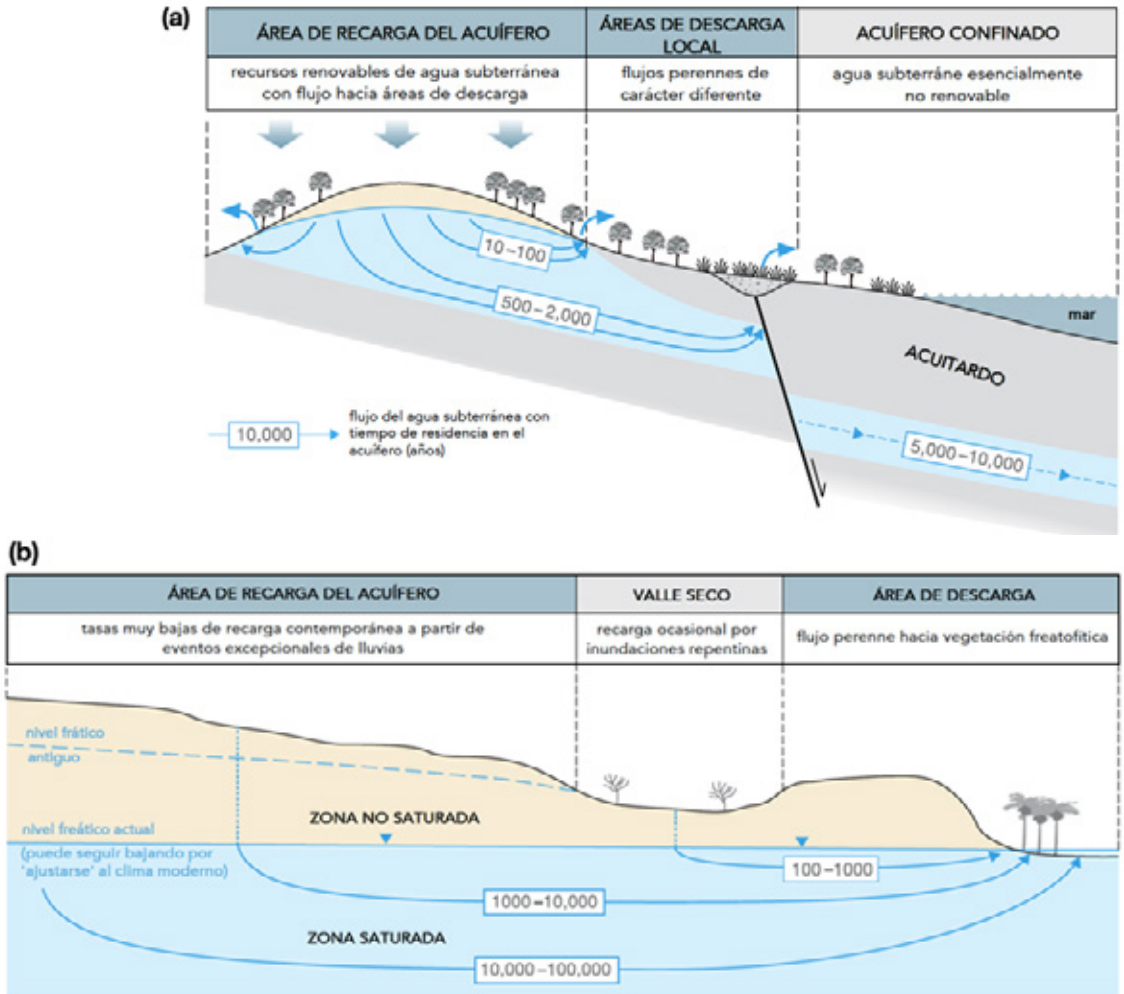
"EL AGUA DE RECARGA NORMALMENTE VIAJA EN DIRECCIÓN VERTICAL DESCENDIENTE A TRAVÉS DE LA ZONA NO SATURADA HACIA EL MANTO FREÁTICO."

2.2.3 Recarga y renovabilidad

Por lo general, el agua subterránea se recarga con precipitación (lluvia, nieve y deshielo), pero en algunos contextos topográficos, la recarga ocurre mediante la filtración de ríos, lagos o canales. En climas áridos, la recarga por precipitación es menos significativa que la infiltración del lecho de ríos o arroyos transitorios. El agua de recarga normalmente viaja en dirección vertical descendiente a través de la zona no saturada hacia el mando freático; profundidad donde el nivel piezométrico del agua subterránea es igual a la presión atmosférica. Una vez debajo del manto freático, el flujo del agua subterránea es predominantemente horizontal, según los gradientes de presión, y al final va a parar en concavidades en la superficie terrestre (ver Figura 2.4), donde usualmente desemboca hacia un arroyo, manantial o humedal. En efecto, el acuífero se satura a tal grado que la salida iguala a la recarga.

La Figura 2.4a muestra la recarga, el flujo y el tiempo de retención del agua subterránea para un típico acuífero sedimentario en una región con un clima templado húmedo, donde la precipitación es sobre los 700 mm, lo cual asegura una recarga anual significativa. El agua subterránea tiene una circulación relativamente rápida de poca profundidad y desemboca en ríos, así como también a un nivel más profundo de aguas subterráneas que está bajo presión. Esta sección inferior del sistema acuífero está geológicamente confinado y aislado de la superficie, y contiene agua subterránea mucho más antigua y, en esencia, no renovable.

Figura 2.4 Regímenes actuales del caudal de agua subterránea en regiones (a) húmedas y (b) áridas[17]



La Figura 2.4b, muestra la situación que corresponde a una región con un clima hiperárido (precipitación menor a los 200 mm por año). La mayoría del agua subterránea (excepto un componente local muy pequeño que se origina en un valle seco) es extremadamente antigua (que se infiltró en épocas pasadas de climas mucho más húmedos), pero que aún sigue fluyendo lentamente para desembocar en un área de oasis. El nivel de agua subterránea antigua ha disminuido debido a la descarga natural del agua subterránea, que ahora dejó de ser abastecida por precipitación. Nótese que, cuando hubo un nivel más de agua subterránea antigua, el valle seco era un oasis.

Las características del suelo y la vegetación determinan la proporción de precipitación que se convierte en recarga de agua subterránea. En lugares donde el suelo es poco permeable y la vegetación requiere de mucha agua, la recarga de agua subterránea es limitada. La intensidad de la precipitación también tiene un efecto. La evidencia reciente indica que los escasos eventos de precipitación, pero de gran intensidad, son importantes para la recarga de acuíferos, particularmente en áreas semiáridas.

En algunos casos, la relación entre el agua subterránea y los cuerpos de agua superficial puede cambiar. Históricamente, el humedal de las Tablas de Daimiel en el centro de España, se recargaba con el afloramiento del acuífero subyacente. Después del bombeo excesivo de agua subterránea para riego, el nivel freático decreció y el agua que llegaba al humedal por precipitación y el cauce del río se percoló hacia el acuífero, alterando así la interacción entre la descarga y recarga del agua subterránea.

"CUANDO SE EXTRAE AGUA, GENERALMENTE POR BOMBEO, EL NIVEL DEL ACUÍFERO DECRECE."

Como se indicó anteriormente, la mayoría del agua subterránea se recarga activamente, por consiguiente, es un recurso renovable. La tarea del gestor es descubrir una forma de 'cosecharla' sosteniblemente. No obstante, algunos acuíferos tienen muy poca recarga o carecen de recarga. El agua subterránea que poseen proviene de la precipitación en épocas húmedas —quizás de hace 5.000 o 10.000 años atrás (ver Figura 2.4). Dicha agua subterránea —a veces denominada 'agua fósil'— no es renovable bajo las condiciones actuales. Las áreas principales en el mundo con agua subterránea esencialmente no renovable, incluyen la mayor parte de África Sahariana, el Medio Oriente y Asia Central. En el desierto del Sahara, por ejemplo, el agua subterránea profunda se formó debido a la alta pluviosidad durante períodos glaciares de latitud alta.

Cuando se extrae agua subterránea, generalmente por bombeo, el nivel del acuífero decrece, dando lugar a la recarga del acuífero. Si la extracción es menor que la recarga, la descarga natural hacia manantiales y ríos alcanza un equilibrio nuevo. El tiempo que toma esta transición depende de una serie de factores y puede tardar décadas o cientos de años. Si la extracción es mayor que la recarga, los niveles del agua continuarán decreciendo a medida que disminuye el volumen de agua subterránea almacenada. Por consiguiente, tener un buen conocimiento sobre la tasa de recarga de un acuífero, las variaciones en el nivel del agua y el régimen de extracción, es fundamental para cualquier gestión de recursos de aguas subterráneas.

Imagen 2.1 Agua subterránea al fondo de un pozo.

2.2.4 Agua subterránea, ríos y ecosistemas

El agua subterránea está íntimamente vinculada con los ríos, humedales y lagos, y ayuda a sustentar muchos ecosistemas acuáticos importantes. En áreas húmedas, por lo general, el agua subterránea se descarga hacia los ríos, manteniendo su caudal base y ecosistemas acuáticos (ver Figura 2.6). En áreas más áridas, la relación es mucho más compleja y a menudo los ríos pierden agua ya que se infiltra hacia el sistema de aguas subterráneas. Esta pérdida ocurre de muchas formas, por ejemplo: filtración del lecho de grandes ríos perennes, la infiltración periódica del agua de ríos transitorios o wadis, o eventos de inundación que recargan los acuíferos en zonas inundables.

"ECOSISTEMAS ACUÁTICOS ALIMENTADOS POR AGUA SUBTERRÁNEA SON BUENOS INDICADORES DE LA SALUD DE UN ACUÍFERO."

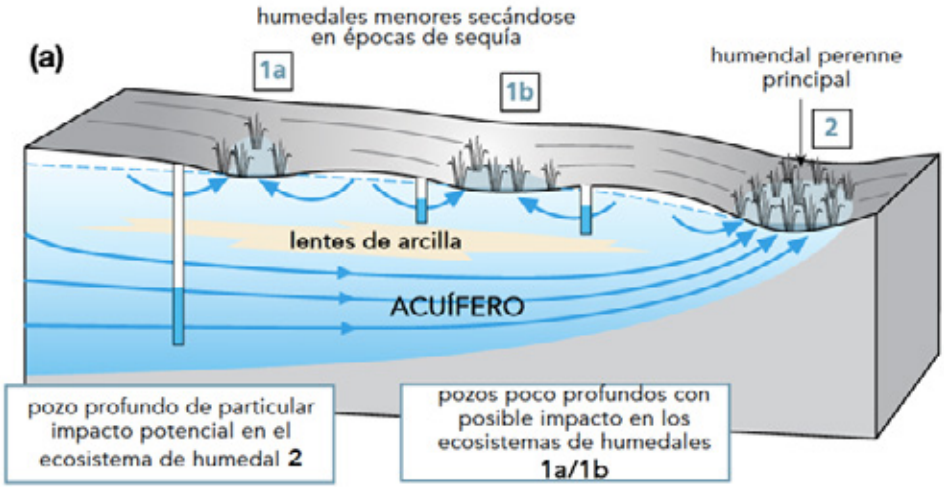
Los ecosistemas alimentados por agua subterránea tienden a exhibir cambios lentos en el caudal o nivel del agua, denominado hidroperíodo, permitiendo el crecimiento de plantas y animales específicos que prosperan en aguas estables, así como en ríos calizos o pantanos. En estos ecosistemas, el agua subterránea tiende a tener una temperatura constante (p. ej. 10-11°C); usualmente una temperatura más caliente que los ríos alimentados con agua superficial en el invierno y una temperatura más fría en el verano. Por ende, los ríos de tierras bajas alimentados por agua subterránea pueden ser hábitat para peces, tales como el salmón que normalmente se encuentra en ríos de montaña más fríos. Las diferencias en las propiedades químicas del agua subterránea, tal como un pH alto en ríos calizos, también ayudan a sustentar flora y fauna únicas. Los ecosistemas acuáticos alimentados por agua subterránea también pueden ser buenos indicadores de la salud de un acuífero en términos de cantidad y calidad de agua. En circunstancias particulares, el agua subterránea permite el desarrollo de especies únicas o endémicas, tales como la estigofauna (p. ej. Niphargus glenniei - crustáceo pequeño parecido al camarón) y el tetra ciego mexicano (Astyanax mexicanus) en México. En ambientes desérticos, el agua subterránea es la única fuente hídrica y los oasis alimentados por agua subterránea a menudo incluyen ecosistemas acuáticos altamente productivos que proveen recursos naturales y servicios ecosistémicos cruciales para la población, tales como peces y pastizales rodeados por entornos áridos. Normalmente, la evaporación es muy alta en estas áreas, pero el volumen general del agua tiende a ser bajo debido a su pequeña extensión espacial.

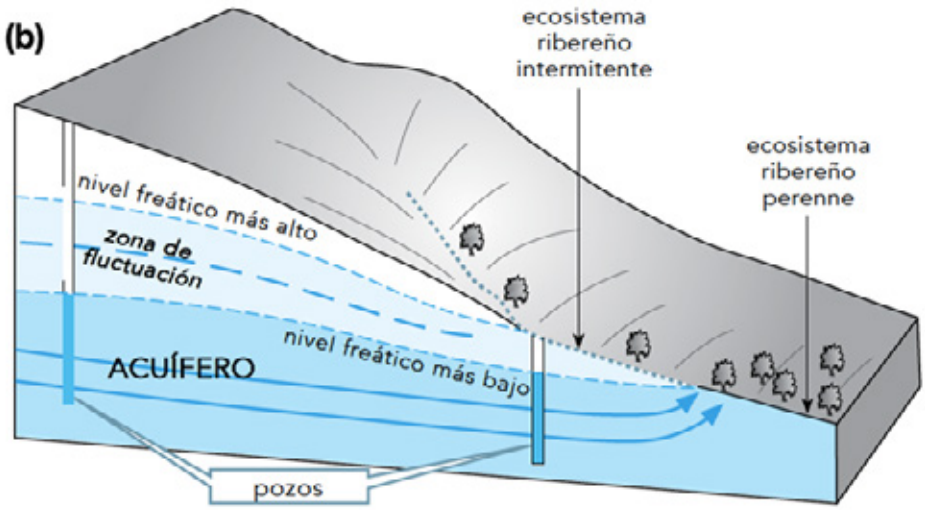
Los ecosistemas de humedales pueden depender del agua subterránea que fluye a diferentes profundidades y, por lo tanto, la profundidad de un pozo de extracción de agua puede determinar el impacto en el humedal. La Figura 2.5a muestra cómo bombear agua en pozos poco profundos puede cortarles el agua a humedales menores ubicados en depresiones superficiales. La sobre extracción de un pozo profundo, incluso lejos de un humedal perenne grande, puede afectar seriamente los niveles del agua en ese humedal. La Figura 2.5b muestra cómo bombear agua en pozos profundos, igual lejos de un ecosistema, puede causar fluctuaciones en el nivel freático provocando que parte de un arroyo se seque periódicamente.

El riego puede acentuar la interacción entre el agua superficial y el agua subterránea: el exceso de agua en campos regados se lixivia hacia el agua subterránea; canales o tuberías con fugas también recargan acuíferos. Sin embargo, estas fugas no siempre son beneficiosas para el agua subterránea, ya que pueden incrementar la salinidad del agua subterránea, lo cual, si no se diagnostica ni controla, puede resultar en una reducción significativa de la productividad agrícola. Existen diferentes mecanismos mediante los cuales el agua de regadío puede afectar el agua subterránea: (1) la fuga de los canales puede causar que aumente el nivel freático (esto también puede ocurrir por causa de los ríos); (2) el agua de regadío puede lixiviarse por el suelo acarreando sales, lo cual incrementa la salinidad del agua subterránea; y (3) la extracción excesiva puede reducir el nivel freático y permitir que el agua de un estero o del océano fluya "de regreso" al acuífero.

Figura 2.5 Dependencia ecosistémica del agua subterránea para (a) humedales asociados con un acuífero de múltiples estratos en un área húmeda y (b) un arroyo en un área árida.[18]

En el (a), el impacto potencial de la extracción de agua en pozos depende de la profundidad y el nivel del agua extraída. En (b), si el curso superior del arroyo está parcialmente alimentado por aguas subterráneas y el curso bajo del arroyo, por descarga perenne, el impacto de la extracción de agua en pozos dependerá de la distancia del arroyo, período de bombeo y características del acuífero.

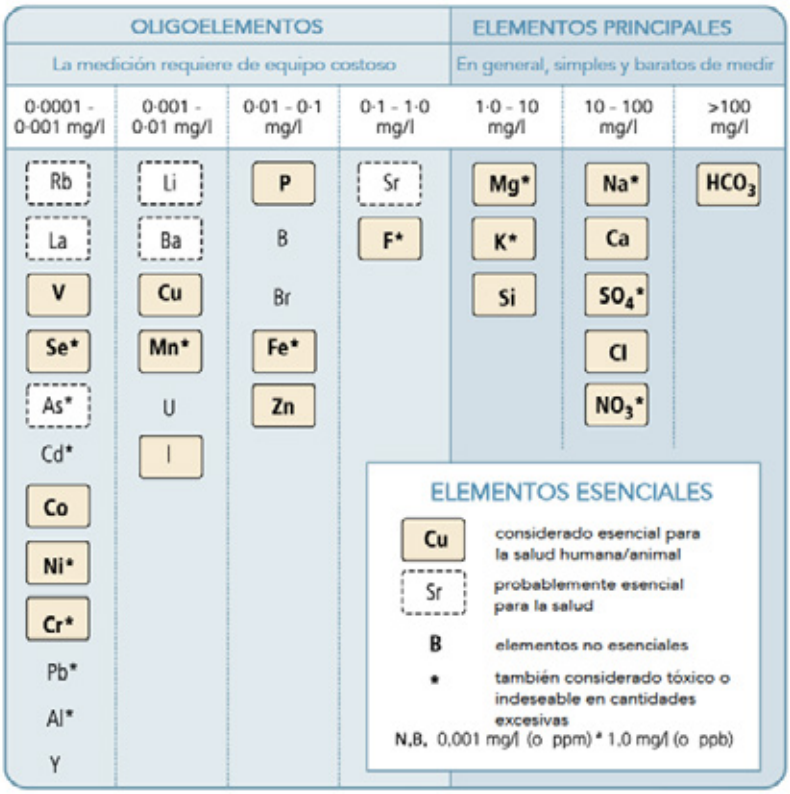




2.2.5 Química del agua subterránea

La mayoría del agua subterránea tiene una excelente calidad microbiológica y una calidad química adecuada para la mayoría de los usos. Ciertamente, muchas personas compran (a un costo alto) agua embotellada de fuentes naturales de agua subterránea en lugar de abastecimientos públicos, los cuales pueden ser agua tratada de un río. Nueve químicos principales (sodio, calcio, magnesio, potasio, bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato y silicio) componen el 99% del contenido soluble del agua subterránea natural. La proporción de estos componentes químicos en el agua subterránea refleja la geología e historia del caudal del agua subterránea. Otros componentes menores y residuales forman el 1% restante y su presencia (o ausencia) local puede causar serios problemas de salud o que el agua no sea apta para uso humano o animal (Figura 2.6).

Figura 2.6 Componentes químicos que se encuentran naturalmente en el agua subterránea [19]

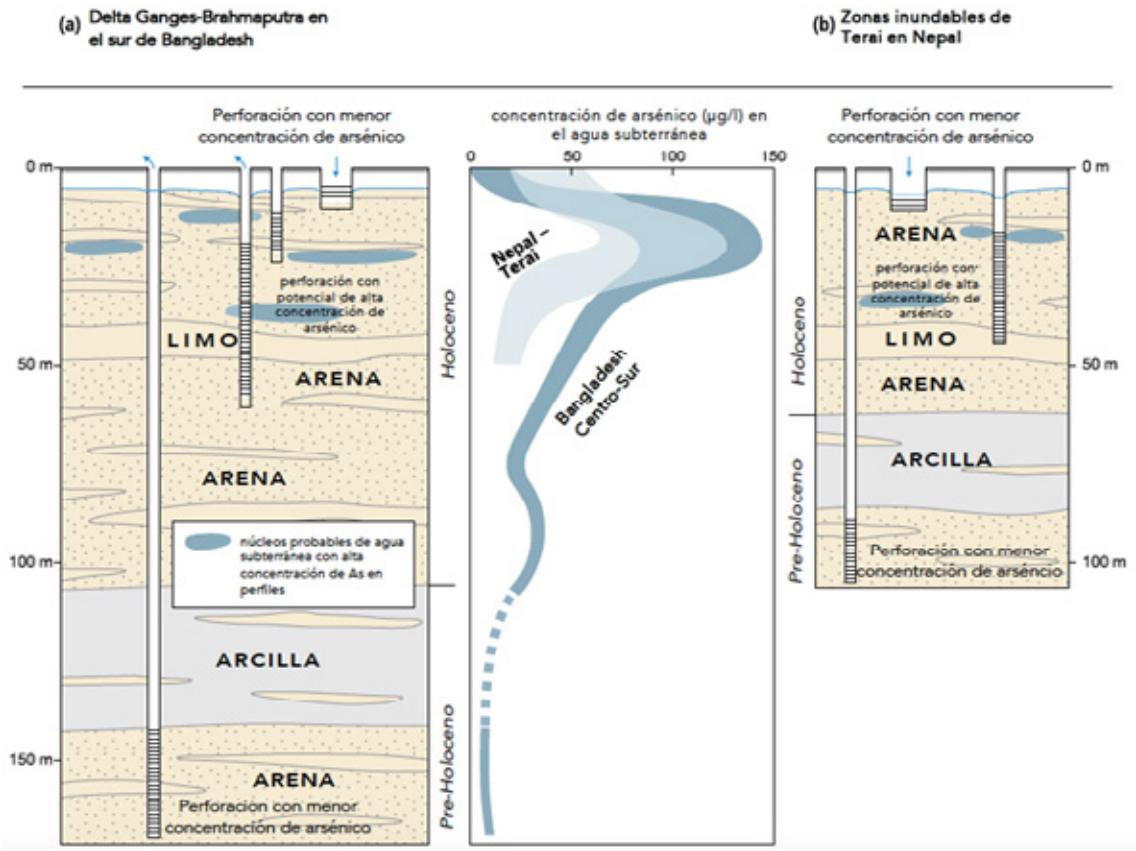


"LOS PROBLEMAS SURGEN CUANDO EL AGUA DE RECARGA CONTIENE CONTAMINANTES QUÍMICOS."

El agua subterránea puede contaminarse, si no se desarrollan ni mantienen correctamente las medidas de protección de pozos, otras perforaciones o manantiales. Problemas adicionales surgen cuando el agua de recarga contiene contaminantes químicos de la actividad agrícola, industrial o descargas residuales. Por lo tanto, es esencial evaluar estos riesgos y también realizar un análisis a los abastecimientos de agua potable para asegurar que estos cumplen con las normas sanitarias. También es fundamental que los gestores del agua comprendan que la calidad del agua subterránea en un acuífero no es uniforme y que además ocurren variaciones importantes en la calidad natural del agua debido al nivel de contaminación tanto vertical como horizontal (ver Figura 2.7).

Dos componentes naturales —arsénico y fluoruro— son de preocupación particular para la salud. Una de las demostraciones más dramáticas de esto es la crisis de arsénico en el sur de Asia (concretamente Bangladesh, Bengala de India y Terai de Nepal), donde los pozos poco profundos construidos para abastecer agua potable segura con frecuencia proveen agua con concentraciones naturalmente altas de arsénico (ver Figura 2.7). El arsénico es un veneno que causa cáncer de piel y gangrena, entre otras enfermedades. El fluoruro natural del agua subterránea es una preocupación creciente, con más de 200 millones de personas que corren el riesgo de beber agua con concentraciones altas de fluoruro. La exposición elevada al fluoruro puede provocar problemas dentales severos y concentraciones aún más altas pueden causar fluorosis esquelética, lo cual limita la movilidad e incluso lleva a la parálisis.

Figura 2.7 Estratificación del agua subterránea y la contaminación con arsénico (As) en las llanuras aluviales del delta Ganges-Brahmaputra en Bangladesh y el terai de Nepal[20]



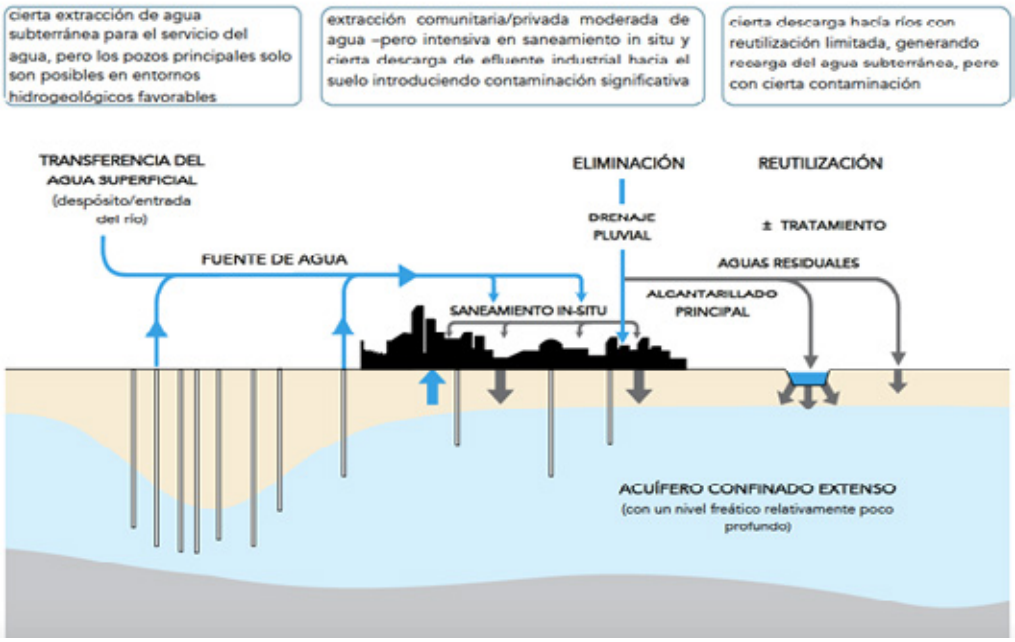
La Figura 2.7 muestra las altas concentraciones de arsénico soluble que ocurren a profundidades de 5 a 30-40 metros debajo del nivel del suelo, como resultado de las variaciones naturales en la hidroquímica del suelo. El perforar pozos más profundos evita los depósitos de agua cargada con arsénico y provee agua potable segura (a un costo más alto). No obstante, con el tiempo, el agua contaminada con arsénico puede infiltrarse hacia los estratos más profundos debido a la actividad de bombeo.

2.3 Amenazas al agua subterránea: sobre extracción y contaminación

2.3.1 Factores de la degradación de las aguas subterráneas

Las dos amenazas importantes para el agua subterránea son la sobre extracción y contaminación. La urbanización, industrialización y la intensificación de prácticas agrícolas han llevado a una creciente demanda de agua subterránea como fuente confiable de abastecimiento hídrico. El rápido crecimiento demográfico y las presiones del cambio climático han complicado la situación. Estas prácticas también pueden producir una alta carga de contaminantes, los cuales a menudo se liberan al medio ambiente y a la larga contaminan el agua subterránea. La Figura 2.8 ilustra el grado de perturbación al sistema de agua subterránea natural debajo de un área urbana grande. Diferentes sistemas de aguas subterráneas reaccionan de formas distintas a estas amenazas. Los gestores no solo deben conocer las amenazas, sino que también la susceptibilidad y vulnerabilidad del sistema de agua subterránea en cuestión. La Figura 2.9 muestra una ciudad que utiliza agua subterránea en conjunto con agua superficial como fuente de abastecimiento de agua. La descarga de ciertas aguas residuales y químicos industriales contaminan tanto el agua subterránea como los arroyos. El saneamiento localizado e intensivo con la descarga de residuos hacia el suelo puede causar una contaminación severa de las aguas subterráneas.

Figura 2.8 La relación estrecha entre el agua subterránea y la urbanización[21]



2.3.2 Impactos de la sobreexplotación

La extracción intensiva puede agotar el agua subterránea de un acuífero. Un nivel de agua subterránea más profundo aumenta los costos de bombeo y, por consiguiente, puede causar serios daños al permitir la intrusión de agua salina hacia el sistema de agua dulce o incluso el hundimiento de la tierra si los pequeños agujeros previamente cargados de agua subterránea se comprimen y colapsan.

Estos efectos pueden tardar varias décadas antes de ser evidentes y pueden ser irreversibles. La disminución de los niveles freáticos puede reducir el rendimiento de pozos poco profundos, o incluso pueden llegar hasta a colapsar, si el nivel de agua subterránea cae por debajo del fondo del pozo. En algunos sistemas susceptibles, tan solo una leve disminución del nivel del agua subterránea puede tener un impacto significativo en el caudal de manantiales o en la salud de los humedales, ya que se reduce la descarga natural de agua subterránea para compensar la extracción.

"LA EXTRACCIÓN INTENSIVA PUEDE AGOTAR EL AGUA SUBTERRÁNEA DE UN ACUÍFERO."

En ocasiones, estos efectos ocurren en un área limitada (por ejemplo, alrededor de un pozo), incluso cuando la extracción total es menor a la recarga total, dado que el agua subterránea fluye hacia la depresión causada por la extracción, cambiando así el gradiente hidráulico del acuífero adyacente. Si los acuíferos circundantes (incluyendo los superpuestos y subyacentes) contienen agua salina o salobre, esta agua puede fluir hacia la depresión, degradando el agua dulce subterránea. La intrusión salina es muy común en acuíferos costeros, donde el agua salada del mar fluye tierra adentro como respuesta del bombeo (Caso 2.1). También es posible encontrar agua salada en algunos acuíferos profundos, o en áreas áridas con niveles freáticos poco profundos, como resultado de la evaporación directa.

Caso 2.1 Agua marina invade acuífero de Chipre[22]

La formación de la piedra caliza litoral del sudeste de Chipre es típica en muchas de las islas y zonas costeras con acuíferos altamente permeables. El nivel freático está por arriba del nivel del mar. Sin embargo, el bombeo descontrolado para riego, además de la construcción de represas que reducen la descarga, han reducido de forma severa el nivel del manto freático. Entre 1960 y 1980, los niveles del agua en los pozos habían decrecido en general más de 25 m por debajo del nivel del mar. El agua salada cerca del mar fluyó en dirección inversa hacia la depresión, provocando así una intrusión significativa de agua marina hacia el acuífero varios kilómetros tierra adentro de la costa.

Hoy en día es posible presenciar los efectos duraderos dada la cantidad de bombas de eólicas abandonadas y campos sin cultivar cerca de la costa. Un informe estima que tomaría 12 años sin bombear agua para restaurar el agua subterránea a sus niveles previos y aún más tiempo para eliminar la contaminación de nitrato en el agua subterránea causada por el riego, lo cual hace del agua subterránea no apta para beber. La disminución de la precipitación ha causado la reducción del caudal de los ríos y acuíferos de recarga, y junto con la sobre extracción, han provocado un impacto negativo en los recursos de agua subterránea forzando la extracción sostenible al límite.

El país ha desarrollado un plan de acción participativo para la gestión de cuencas hidrográficas enfocado en la reducción drástica del bombeo a niveles sostenibles y el aumento de la recarga mediante métodos naturales y artificiales. No obstante, tomará décadas de disciplina para restaurar el recurso.

"LA VELOCIDAD DE AGOTAMIENTO DE UN SISTEMA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DEPENDE DE SU HIDROGEOLOGÍA."

La extracción de agua subterránea reduce la presión en el espacio de los poros del acuífero. Si la roca es compresible, esta puede colapsar y su capacidad para retener agua, incluso después de la recarga, puede reducirse permanentemente. Cuando hay presencia de capas gruesa de arcilla, ya sea intercaladas o sobre el lecho, la compresión puede ser significativa y conducir al hundimiento del suelo, lo cual en un área altamente urbanizada o zona costera puede provocar impactos severos en la infraestructura.

2.3.3 Susceptibilidad a los efectos secundarios de la sobre extracción

La velocidad de agotamiento de un sistema de aguas subterráneas, o cuán susceptible es a la degradación secundaria, producto por ejemplo de la intrusión salina o hundimiento del suelo, depende de su hidrogeología. La Tabla 2.2 detalla los impactos de la extracción excesiva y cuáles son los factores hidrogeológicos que determinan la susceptibilidad de los diferentes acuíferos a estos efectos secundarios.

Si comienzan a aparecer síntomas, tales como la disminución de la calidad del agua y del rendimiento del pozo o el deterioro de un ecosistema dependiente (ver Tabla 2.2), entonces se debe evaluar la hidrogeología para predecir el deterioro a futuro y evaluar cuáles opciones de manejo serán las más efectivas. Cuanto más pronto se realice un diagnóstico, mejor. El monitoreo regular de la calidad del agua, los niveles del agua y la salud del ecosistema es importante para la detección temprana de problemas.

Tabla 2.2 Factores hidrogeológicos que afectan la susceptibilidad de un acuífero a la sobreexplotación[21]

Síntomas de la extracción excesiva	Factores hidrogeológicos que afectan la susceptibilidad del sistema a la extracción excesiva
• Disminución de los niveles del agua subterránea: incremento en los costos de bombeo; reducción en el rendimiento de los pozos; reducción en el caudal base y del manantial	• Propiedades del acuífero: transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento • Recarga anual • Volumen del acuífero
• Estrés en la vegetación: al caer los niveles del agua subterránea, cierta vegetación dependiente entra en estrés, marchitez o muere; los humedales también comienzan a secarse conduciendo a estréses significativos en el ecosistema dependiente	• Igual que arriba, más la profundidad del agua subterránea
• Agua salina: la reducción en los niveles del agua subterránea puede provocar que agua de mala calidad fluya hacia el acuífero -a menudo del mar, pero también de otras fuentes- con síntomas tales como cambio en el sabor, reducción en el rendimiento de cultivos, aumento de la corrosión. Fácil de medir dado en el cambio en el contenido de sal o conductividad eléctrica del agua bombeada	• Proximidad del agua salina o contaminada • Presencia de barreras físicas e hidráulicas
• Pérdida de la capacidad del acuífero: el sobreuso puede provocar la pérdida de presión y la compactación de las rocas porosas, reduciendo así su capacidad para retener agua, que resulta en rendimientos reducidos del pozo	• Compresibilidad del acuífero
• Hundimiento de la tierra: al caer los niveles del agua subterránea, algunos acuíferos se comprimen significativamente causando el hundimiento del suelo con daños a infraestructuras correspondientes	• Compresibilidad del acuífero • Compresibilidad de los acuitardos suprayacentes e intercalados • Grosor de los acuitardos

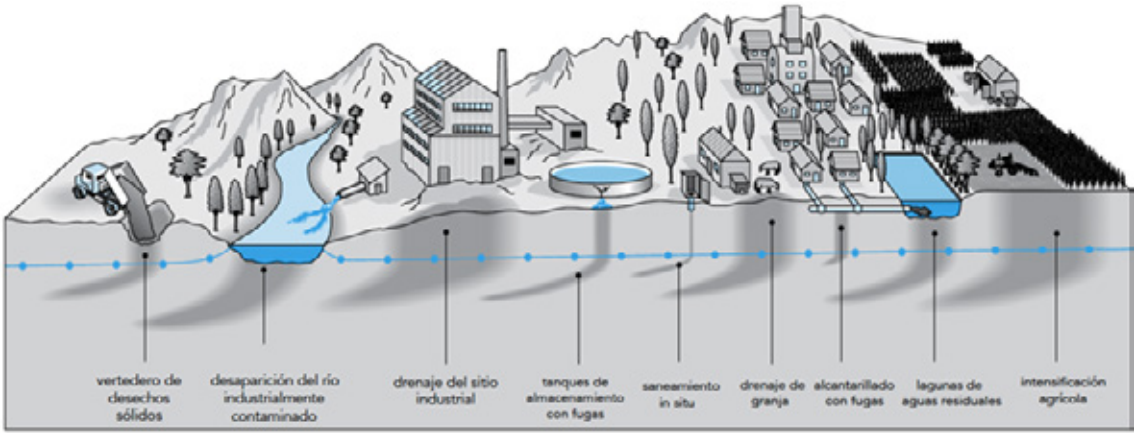
2.3.4 Procesos de contaminación

La urbanización, industrialización e intensificación agrícola pueden conducir a la contaminación severa del agua subterránea. La Figura 2.9 muestra algunas fuentes principales de contaminación del agua subterránea. La contaminación agrícola tiende a extenderse hacia varias áreas dada la intensificación agrícola. Puede generar concentraciones elevadas de nitrato a partir de fertilizantes y residuos animales, así como también de compuestos más exóticos en los pesticidas. Las industrias pueden generar diferentes contaminantes, incluyendo diferentes tipos de hidrocarburos y metales pesados. La actividad minera puede provocar la contaminación severa del agua debido a las altas concentraciones de hierro y otros metales, agua ácida y un nivel alto de sulfatos. Las aguas residuales del humano también pueden ser una fuente principal de contaminación, en especial debido a la infiltración de las aguas usadas provenientes de los sistemas de saneamiento locales, tales como letrinas y tanques sépticos o alcantarillado existente, dado el uso de estas aguas para el riego de cultivos, lo cual puede resultar en concentraciones altas de nitratos, cloruro y carbono orgánico y finalmente en la contaminación fecal del agua subterránea e incluso de los cultivos.

"LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA PUEDE PASAR INADVERTIDA INCLUSO VARIOS AÑOS DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES."

En teoría, el agua subterránea corre el riesgo de ser contaminada, si la capacidad natural del suelo, la zona no saturada o los estratos que confinan un acuífero no son suficientes para contener o atenuar la carga contaminante o la presión ejercida. Debido a que el movimiento del agua es más lento bajo tierra, la contaminación del agua subterránea puede pasar inadvertida incluso varios años después de la aplicación de fertilizantes o la descarga de efluentes, y puede perdurar mucho más allá en el tiempo después que haya cesado la contaminación.

Figura 2.9 Gama de actividades que pueden generar una carga contaminante subterránea y la contaminación de un acuífero subyacente. La línea azul representa el nivel freático y el sombreado gris oscuro, debajo del suelo, muestra el tipo de pluma de contaminación del agua subterránea que puede resultar en un sistema de acuífero granular.[23]



La Figura 2.9 muestra la gama de actividades que pueden contaminar el agua subterránea en un acuífero poco profundo. Ilustra el tipo de pluma de contaminación del agua subterránea que puede resultar en un sistema de acuífero granular. Si está contemplado realizar estas actividades, o ya existen, en áreas con tipos de acuíferos vulnerables (ver siguiente sección), o si el agua subterránea extraída se utiliza como suministro de agua potable, entonces se deben identificar e implementar determinadas medidas para controlar la contaminación.

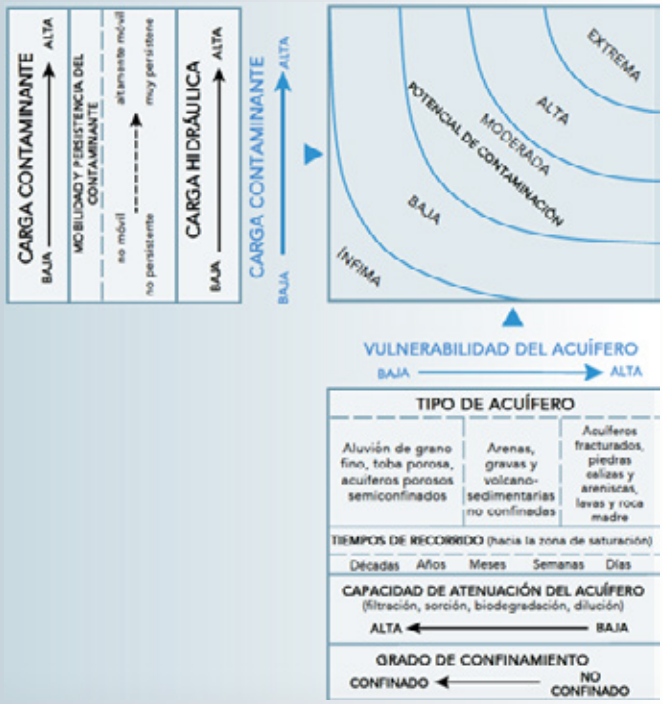
Recuadro 2.1 Determinación de la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación

La severidad de la contaminación del agua subterránea depende de dos factores: la naturaleza de la contaminación y la naturaleza del acuífero. La Figura 2.10 muestra la escala de vulnerabilidad para cada factor. La gráfica de la "carga de contaminación" considera tres características de los contaminantes (a) la cantidad de contaminación (nivel de carga contaminante), (b) la movilidad y persistencia del contaminante, y (c) la carga hidráulica. En general, una carga contaminante que está a un nivel alto, es móvil, persistente y que se descarga al suelo, es más seria que aquellos contaminantes que están a un nivel bajo, cuya movilidad es difícil, no son persistentes ni están impulsados por una gradiente hidráulica fuerte.

La movilidad está regida por reacciones geoquímicas; así como, por las influencias ambientales predominantes donde se movilizan los contaminantes. Los contaminantes móviles, por lo general, son aquellos que se disuelven con facilidad en el agua, tales como nitratos, solventes y algunos aceites ligeros. La movilidad de metales (p. ej. plomo, cromo) depende del pH y redox del agua subterránea. Los aceites pesados, por lo regular, no son muy móviles, y en cuanto a los pesticidas, puede ser muy difícil de predecir su movilidad ya que unos son más móviles que otros.

Existen cuatro características que tienen un impacto en la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación (Figura 2.19): (a) el tipo de suelo y roca, (b) tiempo de recorrido del agua a lo largo del acuífero, (c) la capacidad del acuífero para absorber contaminantes, y (d) su grado de confinamiento. En general, los acuíferos más vulnerables son aquellos con un lecho de roca fracturada, con un tiempo de recorrido corto (días), que exhiben una capacidad baja para filtrar los contaminantes hacia afuera y aquellos que no están confinados por estratos semipermeables. Los acuíferos que tienen una mejor capacidad para enfrentar los contaminantes son aquellos que están compuestos de materiales de grano fino, tienen tiempos de recorrido medidos en décadas, poseen una alta capacidad de filtración y están confinados por estratos o acuitardos semipermeables.

Figura 2.10 Influencia de la carga contaminante y de la potencial vulnerabilidad del acuífero a la contaminación del agua subterránea.[24]



2.3.5 Vulnerabilidad a la contaminación

Algunos sistemas de acuíferos son más intrínsecamente vulnerables a la contaminación que otros. Los acuíferos poco profundos y no confinados corren mayor riesgo de contaminación dado que existen menos estratos que puedan filtrar los contaminantes. En acuíferos profundos, los perfiles naturales del subsuelo ofrecen mayor protección y pueden atenuar activamente muchos de los contaminantes del agua a través de la degradación y reacciones químicas, y también estos pueden retardar los efectos de los contaminantes que se adhieren a las superficies de las arcillas minerales y/o materia orgánica (ver Recuadro 2.1).

Las propiedades de los estratos que separan a un acuífero saturado de la superficie del suelo, por lo general, determinan la susceptibilidad del acuífero a la contaminación proveniente de la superficie. Para propósitos de manejo de suelo, se deben estudiar la compatibilidad entre el tipo de vulnerabilidad intrínseca de diferentes acuíferos con los usos del suelo (ver Sección 2.4.2). Algunos hidrogeólogos promueven el uso de "mapas de vulnerabilidad específica" para contaminantes individuales (tales como nitratos o grupo de pesticidas), pero no siempre existe la información adecuada o sistemática ni los recursos suficientes.

2.4 Información requerida para mejorar la gestión de los acuíferos

Es de vital importancia obtener buena información sobre los recursos de aguas subterráneas para mejorar el manejo de los acuíferos. Esto requiere del uso de herramientas científicas adecuadas para diagnosticar y monitorear la condición del sistema de acuíferos. A continuación, se describen los mejores métodos para la caracterización de las aguas subterráneas, seguido de una introducción a ciertas herramientas técnicas de manejo, tales como modelación del agua subterránea para prever problemas potenciales, determinar el ordenamiento territorial que ayude a limitar la contaminación, y una gama de soluciones de ingeniería para mitigar el daño que ya existe.

2.4.1 Balance hídrico

El balance hídrico se estima al comparar la recarga hacia el acuífero con la descarga natural y la extracción. Desafortunadamente, no es un proceso simple ni directo, ya que pueden existir muchos puntos de descargas y extracción, y la recarga no se puede medir directamente. Como aproximación, vale la pena tratar de reconstruir la historia sobre las variaciones en el nivel del agua subterránea, idealmente a partir de datos obtenidos mediante el monitoreo de pozos en el tiempo. Esta información puede indicar si el agotamiento del agua subterránea ha sido constante al largo plazo. Si no se dispone de datos históricos, es posible obtener cierta información general sobre la condición de los recursos de agua subterránea a partir de entrevistas con una variedad de usuarios del agua subterránea para ver si logran recordar eventos en el pasado relacionados con los acuíferos. Solo con elementos históricos es posible desarrollar una idea de cómo responde un sistema ante diferentes eventos a lo largo del tiempo.

La Tabla 2.3 muestra los métodos requeridos para desarrollar y analizar el balance hídrico de un acuífero. Uno de los pasos más importantes es realizar un inventario de las extracciones de agua subterránea. Sin esta información, sería muy difícil definir e implementar medidas efectivas de gestión sostenible. La medición de la recarga, que forma parte del insumo de la ecuación, es un proceso complejo que requiere de datos exhaustivos. La recarga puede resultar de la infiltración difusa del exceso de agua a través del suelo, o debido a eventos episódicos, tal como precipitación intensa; también puede resultar de la actividad humana, tal como riego agrícola excesivo o filtración de la infraestructura hídrica de áreas urbanas.

Uno de los mejores métodos para analizar el balance hídrico de un acuífero es construir una modelación numérica del agua subterránea (ver Sección 2.3.3). Para crear esta modelación, es necesario aplicar la recarga y descarga bombeada a la geometría del acuífero con propiedades conocidas del acuífero, y luego comparar los niveles del agua subterránea y las descargas naturales pronosticados por la modelación y con mediciones de campo. Las modelaciones numéricas son una excelente herramienta para comprender y priorizar qué información adicional deben recopilarse.

Tabla 2.3 Métodos para evaluar las condiciones del agua subterránea[25]

Propósito	Método	Requisitos
• Estimar la descarga	• Inventario de los pozos/perforaciones /manantiales • Aforo de los ríos	• Ubicar toda extracción grande y obtener detalles sobre extracciones actuales y patrones de bombeo. Buscar información histórica. • Analizar datos existentes de aforo para evaluar el caudal base del agua subterránea. Si no hay, utilizar métodos de captaciones sin aforar y considerar instalar el monitoreo.
• Estimar la recarga	• Equilibrio de la humedad del suelo o métodos de umbrales para áreas más áridas • Método de balance del cloruro • Indicadores del tiempo de residencia	• Precipitación diaria, evapotranspiración e información del suelo y vegetación. • Medir el cloruro en agua subterránea no contaminada y comparar con la precipitación (particularmente efectivo en áreas áridas). • Usar isótopos estables o gases disueltos para determinar el tiempo de residencia del agua subterránea.
• Evaluar los niveles de agua	• Medición de los niveles del agua subterránea en pozos sin bombeo	• Monitorear los niveles del agua en el acuífero, no en pozos de perforación individuales.
• Analizar el balance hídrico	• Ecuaciones analíticas • Modelo de agua subterránea	• Evaluar el balance hídrico simplemente balanceando la descarga, recarga y cambios en el almacenamiento • Evaluación mucho más robusta de la compresión del acuífero y balance hídrico, pero requiere mucho tiempo y muchos datos.
• Evaluar la calidad del agua	• Estudio de la calidad del agua	• Estudiar la calidad del agua subterránea en pozos, perforaciones y manantiales, con muestreo y análisis rigurosos para distinguir la contaminación y la intrusión salina de los cambios geoquímicos naturales.

2.4.2 Calidad del agua subterránea

La caracterización de la calidad del agua subterránea es mucho más directa y simple que la estimación del balance hídrico, pero requiere de un muestreo detallado y sistemático. Es posible hacer una prospección relativamente rápida de los pozos de bombeo, pozos poco profundos y manantiales, pero debe realizarse de forma sistemática y las muestras deben ser analizadas en un laboratorio acreditado. Los datos del monitoreo se interpretan para distinguir la contaminación o intrusión salina de la evolución geoquímica natural del agua subterránea. La información histórica de la química del agua subterránea es indispensable para determinar la evolución de la calidad del agua o el progreso de la contaminación. A modo de referencia, la Organización Mundial de la Salud publica Guías para la Calidad del Agua Potable.[25] Es posible comparar ciertos contaminantes usando estas guías o en función de las condiciones de referencia esperadas de un sistema natural.

Caso 2.2. Arsénico en el agua subterránea en Bangladesh[26]

Un estudio detallado y sistemático de la calidad del agua subterránea en Bangladesh, realizado por el Servicio Geológico del Reino Unido y el gobierno de Bangladesh, arroja luz sobre la naturaleza, escala y causas de la contaminación por arsénico del agua potable.

El estudio mapeó a escala nacional la distribución del arsénico en el agua subterránea y mostró que los problemas de contaminación por arsénico yacen en el agua subterránea de un acuífero joven y poco profundo (período Holoceno). De las muestras de agua subterránea analizadas de este acuífero, un cuarto tenía concentraciones de arsénico por encima de la norma nacional que es de 50 µg/L y casi la mitad de las muestras excedió el valor de referencia de la OMS de 10 µg/L. Sin embargo, otro acuífero ubicado más abajo a una mayor profundidad (período Pleistoceno) contenía agua subterránea con concentraciones de arsénico por debajo del valor de referencia de la OMS (Figura 2.7). El estudio mostró que la probable fuente de arsénico eran los óxidos de hierro de origen natural contenidos en el acuífero del Holoceno y concluyó que la liberación del arsénico ha venido ocurriendo desde hace miles de años. El mapeo indicó que alrededor de unos 35 millones de personas en Bangladesh podían estar bebiendo agua con concentraciones de arsénico que exceden la norma nacional y que unos 57 millones de personas están bebiendo agua con concentraciones que exceden el valor de referencia de la OMS.

El mapa nacional de arsénico identificó áreas prioritarias para acciones de mitigación, identificación y tratamiento de pacientes, campañas de concienciación, y análisis adicional. La investigación también brindó un marco para definir una política nacional del suministro de agua, así como también información y datos de antecedentes para muchos grupos científicos trabajando en el problema de arsénico en la cuenca de Bengala y otros sitios.

2.4.3 Determinación de las características de un acuífero: datos, mapas y modelaciones

La transición del diagnóstico de problemas de las aguas subterráneas hacia la gestión de las mismas requiere entender la naturaleza de los acuíferos. El primer requisito es conocer su ubicación. Luego, es necesario evaluar las características del suelo, sedimentos y rocas para obtener información sobre la capacidad y vulnerabilidad del acuífero. La Tabla 2.4 enumera métodos para caracterizar un acuífero.

Aunque al inicio los acuíferos se visualizan en un mapa plano, al final estos deben comprenderse como un sistema funcional en tres dimensiones y a través del tiempo. Con suficiente información es posible construir una modelación numérica del agua subterránea, que permite identificar las brechas de conocimiento de un sistema de aguas subterráneas y para pronosticar resultados potenciales de las estrategias de gestión.

Los mapas geológicos son la base para cualquier entendimiento hidrogeológico de un área. La mayoría de los países tienen por lo menos un mapa geológico nacional a cierta escala. No obstante, no siempre hay mapas disponibles a una escala útil menores a 1:250,000. Afortunadamente, nuevas técnicas de mapeo geológico usando una combinación de información satelital y estudios de campo dirigidos facilitan el mapeo geológico rápido y económico. Estos mapas pueden transformarse en mapas hidrogeológicos cuando se incorpora información sobre las diferentes propiedades de un acuífero, tales como diferentes tipos de rocas, niveles de agua subterránea y a veces sobre la química del agua subterránea. Estos, a su vez, pueden colocarse o desarrollarse en un sistema de información geográfica digital (GIS). Al final de cuentas, su utilidad depende de la confiabilidad de los datos.

"LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA PUEDE PASAR INADVERTIDA INCLUSO VARIOS AÑOS DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES."

Para transformar un mapa bidimensional en un mapa tridimensional se requiere de información sobre el grosor de los estratos geológicos. Datos de perforaciones profundas en acuíferos pueden revelar información sobre las variaciones de rocas. Cuando los acuíferos son muy profundos, se utilizan otros métodos geofísicos.

Tabla 2.4 Métodos para la caracterización de acuíferos[27]

Propósito	Método	Requisitos
• Ubicar los acuíferos	• Mapeo hidrogeológico	• Buena información y mapas geológicos. Información sobre las propiedades hidrogeológicas de varias formaciones rocosas. Información de los acuíferos, pozos/ perforaciones y niveles del agua
• Comprender los acuíferos en tres dimensiones	• Interpretar información existente de pozos • Prospecciones geofísicas • Perforar pozos de exploración • Registros geofísicos	• Interpretación detallada de las bitácoras de perforación a partir de registros de pozos, si hay • Prospecciones geofísicas para obtener información sobre el grosor y la estructura del acuífero • Perforación dirigida de pozos de exploración, si no hay suficiente información sobre el acuífero • Registros del fondo del pozo para ayudar a caracterizar la estructura del acuífero e identificar los principales horizontes del caudal
• Cuantificar las propiedades del acuífero	• Revisar datos disponibles de pruebas de bombeo • Detallar pruebas de bombeo en pozos/ perforaciones a lo largo del acuífero • Ensayos de laboratorio para mediar porosidad y permeabilidad	• Cotejar información existente de distintas instituciones • Bombear a una tasa controlada por período de varios días y monitorear la respuesta en otros pozos • Analizar muestras de suelo de los pozos para información adicional sobre las propiedades del acuífero

Para entender cómo un sistema de aguas subterráneas responderá a lo largo del tiempo a la actividad de bombeo o contaminación, es necesario determinar la capacidad del acuífero para almacenar agua ('coeficiente de almacenamiento') y el caudal del agua subterránea que circula en un acuífero ('transmisibilidad'). La Tabla 2.2. define estos términos y aquellos relacionados con las propiedades de un acuífero ('conductividad hidráulica' y 'porosidad'). Si no hay información disponible sobre estos parámetros importantes[28], entonces debe emprenderse una serie de investigaciones. El coeficiente de almacenamiento y la transmisibilidad pueden medirse mediante ensayos de bombeo controlado en pozos y midiendo la respuesta del nivel freático. Estas propiedades del acuífero pueden variar en magnitud aun dentro del mismo tipo de roca. Por ello, deben realizarse varios ensayos en un número suficiente de pozos para obtener resultados confiables. Por lo general, la conductividad hidráulica y porosidad se miden extrayendo muestras de roca y realizando pruebas de laboratorio.

A veces se emplean herramientas especializadas, tales como instrumentos geofísicos y pruebas de trazadores (tracer) para ayudar a caracterizar el acuífero. La geofísica de una perforación puede identificar cómo circula el agua en un acuífero —ya sea a través de fracturas simples o por difusión a través de varios poros. Por ejemplo, esta técnica se utilizó con éxito en el sur de Inglaterra para mapear variaciones estacionales en la salinidad de fracturas individuales en un acuífero calizo, lo cual condujo a un manejo mejorado del acuífero para controlar la intrusión salina. En África, se utilizaron corrientes eléctricas aplicadas al suelo para detectar el tipo de estratos de roca que pueden contener agua, así como también sitios idóneos para perforar pozos (Caso 2.3).

Caso 2.3 Técnicas geofísicas empleadas para localizar agua subterránea en África[29]

En África, donde la población rural por lo general depende del agua subterránea extraída de pozos, a menudo se emplean técnicas geofísicas para localizar los mejores sitios para perforar pozos, en lugares donde la geología es compleja, tal como en acuíferos de basamento cristalino. Las dos técnicas más utilizadas para medir las propiedades eléctricas de las rocas son la resistividad y prospección electromagnética. Estos constan de la emisión de corrientes eléctricas a través del suelo para luego medir la facilidad con la cual el suelo conduce electricidad. Por lo general, la roca sólida no conduce electricidad, por tanto, las mediciones elevadas están usualmente asociadas con roca de alta porosidad y cierto contenido de agua. El uso de esta técnica reduce la probabilidad de perforar un pozo seco y, por ende, ayuda a reducir el costo general de un proyecto.

Las pruebas de trazadores, las cuales constan de aplicar un colorante al agua, se utilizan en acuíferos altamente fracturados y en piedra caliza kárstica para trazar conexiones entre los pozos y el agua superficial o ríos.[3]

Recuadro 2.2 Cuatro propiedades de un acuífero, necesarias para predecir el comportamiento del agua subterránea

Porosidad – el espacio vacío total dentro de la roca, el cual, por consiguiente, usualmente define la cantidad total de agua subterránea almacenada en el acuífero.

Coeficiente de almacenamiento – la verdadera medición de la cantidad de agua subterránea disponible dentro de un acuífero; está definido como la cantidad de agua subterránea almacenada dentro del acuífero que se libera cuando el nivel freático cae 1 m.

Conductividad hidráulica – la velocidad (medida en m/día) a la que fluye al agua subterránea por la roca, si existe un gradiente de presión de 1 m sobre una distancia de 1 m.

Transmisibilidad – la capacidad de un acuífero para transmitir volúmenes de agua subterránea (medida en m2/día), calculada al multiplicar la conductividad hidráulica por el grosor del acuífero.

2.5 Marco técnico para la gestión del agua subterránea

2.5.1 Monitoreo del agua subterránea

Después de disponer de la base de datos y el mapa de los acuíferos, se deben monitorear los niveles y la calidad del agua subterránea a lo largo del acuífero para determinar tendencias. ¿Están incrementando o decreciendo los niveles de agua? ¿Están incrementando drásticamente los niveles de nitrato? Para que el monitoreo del agua subterránea sea efectivo, es necesario definir un objetivo específico y los datos recolectados deben almacenarse sistemáticamente para su uso a futuro.

Los niveles aceptables de extracción y contaminación en diferentes áreas deben ser definidos en políticas y lineamientos nacionales e internacionales de salud. El monitoreo revela cómo la situación actual se compara con estos parámetros de referencia. Los niveles de contaminantes pueden compararse con las guías para la calidad del agua subterránea de la Organización Mundial de la Salud.[31]

Para obtener los mejores resultados en el monitoreo de los niveles del agua subterránea, se debe usar pozos de perforación específicos para dicho propósito, habiendo seleccionado con cuidado los sitios de perforación para asegurar el monitoreo específico de los requisitos de la gestión (p. ej. nivel natural del agua en el acuífero o niveles afectados por el bombeo de pozos de campo). Para los muestreos de línea de base del análisis químico del agua, es mejor utilizar pozos de perforación que se bombean con regularidad y muestrear una gran parte del acuífero. No obstante, para muestrear la contaminación, es mejor perforar un pozo en el área de la contaminación. El monitoreo a largo plazo requiere de suficiente inversión para construir una base de datos robusta, la cual puede guardarse y utilizarse con facilidad para preparar informes.

Cuando se identifica un problema, se deben tomar medidas para subsanarlo. Por ejemplo, en Escocia, el monitoreo cuidadoso identificó un aumento en las concentraciones de nitratos en varios acuíferos importantes. Aunque los valores encontrados estaban por debajo de los de referencia indicados por la OMS, los datos mostraron que si se continua con las prácticas agrícolas vigentes, esto podría conducir a que el agua subterránea eventualmente exceda estos límites. Como medida de precaución, a estas áreas se les clasificó como zonas vulnerables al nitrato y se introdujeron medidas especiales para restringir la cantidad y periodicidad de la aplicación agrícola de nitrógeno y el descarte de lodos.[32]

2.5.2 Ordenamiento territorial para la protección los acuíferos

Se pueden utilizar mapas con la caracterización y ubicación exactas de los acuíferos como insumo para orientar el ordenamiento territorial de acuerdo con aquellos usos del suelo compatibles con la capacidad del acuífero subyacente. Muchos países tienen políticas que combinan el ordenamiento territorial de las superficies terrestres de las áreas terrestres con un código de práctica que recomienda tipos de actividades aceptables en las diferentes zonas. El ordenamiento territorial, por lo regular, tiene dos elementos:

- protección de los recursos con base en la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación y
- protección de las fuentes de agua, tales como perforaciones o manantiales, con miras a protegerlos en particular de la contaminación.

En el ordenamiento territorial, las áreas se discriminan según el grado vulnerabilidad de sus acuíferos, desde vulnerabilidad extrema hasta poco vulnerables a la contaminación. La vulnerabilidad extrema está asociada con acuíferos altamente fracturados con un manto freático poco profundo; y se asume que un acuífero tiene una baja vulnerabilidad cuando está separado por capas impermeables de la actividad superficial (ver Tabla 2.6). Los mapas de vulnerabilidad han demostrado ser una herramienta simple y efectiva para determinar el nivel de estudio que requiere un sitio antes de su desarrollo, en lugar de prohibir toda actividad en la superficie.

Las zonas de protección de fuentes son áreas de captación alrededor de perforaciones, pozos o manantiales, y son zonas que fueron determinadas ya sea por modelación numérica o utilizando figuras analíticas estándares que sirven para evitar la contaminación del abastecimiento hídrico. Para contaminantes de fácil degradación, (p. ej. patógenos), una estrategia básica es reducir el riesgo que estos contaminantes ingresen al suelo en áreas donde los tiempos de circulación del agua subterránea desde la fuente de contaminación hasta los sitios de extracción no son suficientes para eliminarlos mediante la filtración o adsorción. Para contaminantes más persistentes (p. ej. hidrocarburos clorados industriales y ciertos pesticidas), la mejor estrategia es prevenir que se descarguen hacia el suelo.

Tabla 2.5 Clasificación general de la vulnerabilidad de un acuífero

• **Extremo**	Vulnerable a la mayoría de contaminantes del agua, con impacto relativamente rápido en muchos escenarios de contaminación
• **Alto**	Vulnerable a muchos contaminantes, excepto aquellos altamente adsorbidos y/o de fácil transformación, en muchos escenarios de contaminación
• **Moderado**	Vulnerable a algunos contaminantes, pero solo cuando se descargan o lixivian continuamente
• **Bajo**	Vulnerable solo a los contaminantes más persistentes a largo plazo, cuando se descargan o lixivian continua y extensamente
• **Íntimo**	El incremento en la demanda de aguas subterráneas resulta en la sobreexplotación del recurso; el cambio climático puede reducir la recarga en algunas áreas

2.5.3 Modelación numérica del agua subterránea

La modelación dinámica del agua subterránea para un acuífero es una herramienta excelente para el manejo de la extracción y también es útil para ayudar a evaluar la intrusión salina y el movimiento de los contaminantes. Una modelación de aguas subterráneas es una representación numérica de un sistema de acuífero que puede correrse utilizando paquetes informáticos en una PC estándar.[33] Una modelación confiable requiere de una cantidad considerable de datos: la geometría del acuífero, la red fluvial, la ubicación de los pozos, la recarga distribuida y las propiedades del acuífero. Es posible utilizar varios paquetes informáticos de modelación tales como MODFLOW o ZOOM. Es de gran utilidad tener a un especialista en modelación hídrica que realice el trabajo en conjunto con los hidrogeólogos. Para ayudar a calibrar un modelo, es necesario tener datos confiables y con variabilidad temporal sobre los niveles del agua subterránea, el caudal del río, la precipitación y la recarga. Incluso cuando los datos son limitados, una modelación preliminar puede ayudar a comprender el comportamiento de un acuífero, indicar la magnitud de posibles respuestas y determinar prioridades para la recopilación de datos.

Con una modelación de aguas subterráneas bien construida y calibrada, es posible plantear preguntas y definir escenarios a futuro. Por ejemplo: ¿cuál sería el efecto de la extracción continua sobre la corriente o el aumento de las tasas de extracción en el acuífero y ecosistemas dependientes? El modelo también puede estimar el tiempo necesario para observar cambios físicos o el tiempo que toma para que las políticas de gestión comiencen a tener un efecto. Pese a los recursos requeridos para configurar una modelación de aguas subterráneas, los resultados pueden ser rentables, pues la modelación permite la estudiar posibles opciones a futuro, sin el riesgo financiero, político ni económico que conllevaría la implementación real de cualquier esquema sin un análisis previo (ver Casos 2.4 y 2.5).

Caso 2.4 Modelación de las aguas subterráneas en el Valle de la Muerte[34]

El Valle de la Muerte de los EE.UU., al sur de Nevada y este de California, es un área de hidrogeología compleja con problemas controversiales de manejo de aguas subterráneas. Además de la continua extracción de agua subterránea, existe un legado de contaminación histórica provocada por pruebas nucleares subterráneas, así como también la existencia de una propuesta recurrente de construir un depósito para desechos nucleares de alto nivel en la Montaña Yucca. La comprensión del movimiento de aguas subterráneas es crucial para saber cómo puede propagarse la contaminación.

El Servicio Geológico de EE.UU. desarrolló una modelación numérica tridimensional (3D) del caudal transitorio del agua subterránea de la región del Valle de la Muerte, para el Departamento de Energía de los EE.UU. Para desarrollar la modelación digital compleja se analizaron conjuntamente los resultados de décadas de estudios del caudal del agua subterránea del sistema, investigaciones de las propiedades hidráulicas de las rocas y conceptualizaciones del caudal.
La modelación del caudal del agua subterránea MODFLOW-2000, una modelación modular 3D de diferencia finita del caudal, fue desarrollada para la región utilizando todos los datos geológicos e hidrogeológicos disponibles y calibrados contra los datos de monitoreo de los niveles del agua y caudal de los manantiales para el período de 1913 a 1998. El modelo representa el gran y complejo sistema de flujo de las aguas subterráneas en la región del Valle de la Muerte, con una resolución y precisión superior a cualquier otra modelación anterior. En la actualidad, este modelo sirve para ayudar a simular los efectos del bombeo en la disponibilidad del agua, la migración de la contaminación y en los ecosistemas dependientes del agua.

Caso 2.5 Modelación del agua subterránea en el Sistema Acuífero de Nubia, Sahara del este[35]

El sistema acuífero de piedra arenisca de Nubia (NAS, por sus siglas en inglés), ubicado al este del Sahara, es el sistema de aguas subterráneas más grande del África, con una extensión que cubre más de 2 millones de km2 y abastece de agua a la mayoría de la población en esa área, adicional al valle del Nilo, para uso doméstico, agrícola e industrial. El NAS lo conforman cuatro cuencas (a) la cuenca Kufra, al sudeste de Libia, noreste de Chad y noroeste de Sudán; (b) la cuenca Dakhla de Egipto; (c) la cuenca noroeste de Egipto; y (d) la Plataforma de

Sudán. En el centro y al norte del sistema, el promedio de precipitación es bajo (50 mm/año) y, por consiguiente, la mayoría de las secciones del sistema carecen de recarga de aguas subterránea en la actualidad y la mayoría de los recursos disponibles fueron recargados durante los períodos más húmedos en la historia del Sahara.

Para mejorar el modelo existente de las aguas subterráneas del NAS, se desarrollaron bases de datos GIS a escalas regional y local, y se creó una base de datos que consta de toda la información hidrogeológica disponible de estudios anteriores y se incorporaron datos hidrogeológicos obtenidos de pozos recientemente perforados en Egipto y Libia hasta el año 2001. Para este modelo regional se desarrollaron mallas telescópicas para disponer de detalles a nivel local. También se desarrolló una modelación numérica tridimensional del caudal del agua subterránea transitoria en función del tiempo utilizando MODFLOW a partir de una base de datos GIS. El propósito de la modelación fue simular la respuesta del acuífero a los cambios climáticos que ocurrieron hace 25.000 años atrás. La calibración del modelo dependió de la simulación de paleo-lagos que existieron durante este período y así poder estimar y calibrar la recarga del acuífero durante ese intervalo de tiempo.

Los resultados del estudio mostraron que las reservas de aguas subterráneas del acuífero de piedra arenisca de Nubia en Egipto y Libia están siendo minadas en la actualidad. El modelo mostró que, si se expande la actividad de extracción a su máxima capacidad para el año 2020, los niveles del agua declinarán progresivamente, al punto que pueden caer por debajo de los niveles de rentabilidad deseables de extracción.

2.6 Intervenciones de gestión para la protección y remediación del agua subterránea

La gestión sostenible de las aguas subterráneas debe tener como finalidad prevenir que se agoten o contaminen severamente, ya que la prevención siempre es más económica que tratar de remediar problemas una vez ocurridos. A veces, la degradación del agua subterránea debe ser mitigada con medidas técnicas, ya sea porque el acuífero no se recuperará por si solo o porque otras presiones causarán que se siga explotando el agua subterránea de un sistema cada vez más degradado. Se han tomado numerosas medidas a nivel mundial con varios grados de éxito.

Es posible utilizar varias medidas para mantener el abastecimiento de agua subterránea, tales como:

- optimizar la ubicación de los pozos y perforación para limitar el agotamiento general del acuífero con la misma tasa de extracción
- controlar regímenes de bombeo para minimizar el descenso del nivel de agua o reducir la intrusión salina
- uso de pozos de apoyo, en casos extremos, para sustentar ecosistemas sensibles o caudales fluviales para aquellos períodos en los cuales se pierde la descarga natural del agua subterránea, y
- usar pozos recolectores en áreas costeras para proteger las áreas productivas del acuífero, mediante el bombeo del agua salina (aunque esto exacerba la deficiencia general del balance hídrico y, por ende, debe ser manejado con cuidado).

La gestión de la recarga de acuíferos para incrementar la tasa de recarga del agua subterránea está creciendo en popularidad y se están utilizando varios métodos: (1) construcción de lagunas y embalses de infiltración (ver Caso 2.6a); (2) modificación de los canales de agua superficial y construcción de pequeñas represas; (3) inyección directa de agua subterránea mediante perforaciones; y (4) construcción de estructuras de pequeña escala en los campos agrícolas.

Caso 2.6 Gestión de la recarga de acuíferos en México[36]

Más de la mitad de México es predominantemente árida y semiárida, haciendo del agua subterránea un recurso esencial para el desarrollo nacional. Se estima que el total de extracción de agua subterránea es de 28.000 millones de m3/año, de los cuales la agricultura usa un 71% y las áreas industriales y urbanas consumen un 26%. En la actualidad, se considera que más de 100 acuíferos regionales están siendo sobreexplotados. Para responder a esta situación, se realizó un proyecto piloto de recarga de acuífero en la región de la Comarca Lagunera

al norte de México, una zona agrícola de gran importancia. El agua que se utiliza para riego, uso doméstico e industrial se extrae de los ríos Nazas y Aguanaval y a través de 3500 pozos que extraen agua subterránea del acuífero de la Comarca Lagunera. Actualmente, se estima que la extracción es por lo menos tres veces mayor a la recarga, lo cual resulta en la disminución del nivel del agua subterránea y el deterioro de su calidad.

La finalidad del esquema piloto desarrollado es manejar la recarga del acuífero para reabastecer el suministro de agua subterránea. El esquema adaptó y utilizó un embalse de recarga de arena cerca del lecho del Río Nazas, en la ciudad de Torreón, cubriendo así un área de 13 hectáreas con una capacidad de almacenamiento de alrededor de 197.000m^3. Se implementaron obras hidráulicas para transportar agua superficial de la represa Zarco hacia el embalse de recarga. Durante el período de prueba entre mayo y agosto del 2000 se transportó un volumen total de 5.2 millones de m3 hacia el embalse de recarga. De este volumen, 0.2 millones de m3 se perdieron por evaporación y 5.0 millones de m3 se infiltraron hacia el subsuelo.

Las recomendaciones de este esquema piloto incluyen la construcción de nuevas estructuras para controlar la descarga de agua hacia las cuencas; la liberación solo 0.5 millones de m3 por semana para evitar el desbordamiento del embalse; la construcción de lagunas de sedimentación paralelas para reducir la obstrucción; y la construcción de pozos de absorción de 20 m de profundidad y >0.3 m de diámetro para evitar horizontes de baja conductividad.

"LA PREVENCIÓN SIEMPRE ES MÁS ECONÓMICA QUE TRATAR DE REMEDIAR PROBLEMAS."

Es aún más importante poder tomar medidas para reducir la extracción mediante el control de la demanda de agua. En los últimos 15 años, más o menos, los diseños de ingeniería han avanzado, ayudando así a que el consumo de agua sea más eficiente. En la agricultura, por ejemplo, el riego por goteo (donde los cultivos únicamente reciben el volumen de agua requerido para su crecimiento óptimo) puede reducir significativamente el consumo de agua y también reduce el consumo de energía requerida para bombear agua para el área de cultivo, manteniendo o incrementando a la vez los rendimientos. No obstante, es un error conceptual deducir que 'si se mejora la eficiencia de consumo de agua del sistema de riego', se 'salva el recurso de agua subterránea'. Solo es posible salvar el recurso cuando se adoptan acciones paralelas para reducir el bombeo del agua subterránea, dado que las presuntas 'mejoras de eficiencia' solo eliminan el exceso del riego, el cual igual se infiltraba hacia el acuífero.

A nivel municipal, las medidas físicas enfocadas para reducir el consumo doméstico de agua, y complementar el uso con agua pluvial para los jardines, pueden reducir la demanda sobre los acuíferos. Son aún más importantes: (a) la reducción de las frecuentes fugas a tasas elevadas de las cañerías de agua urbana (fugas en la red de agua potable), teniendo en mente que, en algunos casos, las fugas en las cañerías de agua pueden recargar el agua subterránea; y (b) el manejo y tratamiento adecuados del agua residual urbano para permitir su reutilización en la agricultura y/o riego de jardines, como sustituto del agua subterránea fresca, considerando que tal reutilización puede generar una carga contaminante para los acuíferos.

"ES POSIBLE TOMAR MEDIDAS PARA REDUCIR LA EXTRACCIÓN MEDIANTE EL CONTROL DE LA DEMANDA DE AGUA."

Se han desarrollado varios métodos para remediar el agua subterránea contaminada, como consecuencia de litigios en EE.UU. o bajo la implementación de la Directiva Marco del Agua. La mayoría de los métodos son específicos al tipo de contaminante y las condiciones hidrogeológicas, son parcialmente exitosos y son caros de implementar. Un aspecto clave de cualquier programa de remediación es acordar con claridad cuál es el sitio objetivo del programa y cómo se monitoreará y medirá. Las medidas de remediación pueden se realizadas in situ (introducción de oxígeno, nano partículas o bacterias para ayudar a acelerar los procesos bioquímicos naturales) o ex situ (bombear agua contaminada hacia la superficie para tratarla o construir barreras para contener el agua contaminada).

2.7 Lista de verificación: Aplicación de conocimientos técnicos e información para la gestión y protección de las aguas subterráneas

Generar conocimiento sobre hidrogeología y recursos de las aguas subterráneas

- Promover un mejor entendimiento sobre cómo funcionan los sistemas acuíferos, entre los usuarios de agua subterránea, agencias técnicas, decisores y entes políticos.
- Comunicar las amenazas al agua subterránea, incluyendo la extracción y contaminación excesivas. Explicar las implicaciones de la degradación del agua subterránea al público en general, los usuarios de aguas subterránea y decisores, en términos de riesgos para la economía, salud, seguridad alimentaria e hídrica, biodiversidad y el medio ambiente.
- Que los actores involucrados y agencias técnicas generen conocimientos técnicos, incluyendo cómo las características y la química de un acuífero determinan el uso sostenible de las aguas subterráneas y las prioridades en la gestión y protección de las mismas.

Generar y poner a disposición información necesaria para mejorar la gestión de aguas subterráneas

- Construir capacidades técnicas para el análisis diagnóstico y monitoreo de sistemas de aguas subterráneas.
- Evaluar las características de los acuíferos, utilizando información geológica de las rocas, sedimentos y suelos; mediante estudios científicos de transmisibilidad y la capacidad de los acuíferos para almacenar agua.
- Recolectar información sobre las variaciones a largo plazo de los niveles de agua subterránea o, en caso de disponer de información, iniciar el monitoreo de manera prioritaria.
- Realizar un inventario de las extracciones de agua subterránea y estimar el balance hídrico de los acuíferos al comparar la recarga natural con la descarga y extracción.
- Caracterización de la calidad del agua subterránea mediante la implementación de un programa sistemático para muestrear los pozos. Establecer líneas de base para monitorear cambios en relación con los estándares de calidad del agua.
- Desarrollar mapas hidrogeológicos nacionales para ubicar los acuíferos y desarrollar bases de datos para disponer y analizar sistemáticamente datos sobre los acuíferos y las aguas subterráneas para ser utilizados en la gestión de aguas subterráneas.
- Evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación y desarrollar mapas de vulnerabilidad para la planificación del ordenamiento territorial.
- Desarrollar modelos numéricos dinámicos de los acuíferos cuando hay disponibilidad de recursos y talento necesarios. Aplicar los modeles para evaluar las implicaciones tras aplicar opciones alternas de gestión y futuros escenarios de explotación de los acuíferos.

Identificar intervenciones de manejo

- Establecer un sistema nacional para el monitoreo continuo de los niveles y la calidad del agua subterránea, incluyendo una red de perforaciones para propósitos de monitoreo.
- Crear un sistema de ordenamiento territorial que solo permita usos del suelo que sean compatibles con la capacidad del acuífero subyacente. Utilizar mapas de vulnerabilidad para identificar dónde deben imponerse condicionalidades antes de proseguir con intervenciones no respaldadas por estudios y para delimitar las zonas de protección de fuentes que requieren de restricciones en cuanto al uso del suelo para evitar la contaminación del agua subterránea.
- Identificar e implementar los controles necesarios para limitar el bombeo del agua subterránea a niveles sostenibles. Complementar estos controles con medidas diseñadas para ajustar la demanda hídrica.
- Implementar prácticas de recarga de acuíferos en lugares que requieren tasas de recarga más altas; por ejemplo, construcción de lagunas de infiltración o inyección directa al acuífero.
- Evaluar la necesidad e idoneidad de métodos alternativos de remediación donde el agua subterránea está contaminada.

CONTAMINATION

Capítulo 3

Políticas, leyes e instituciones para la gobernanza efectiva de las aguas subterráneas

3.1 Gobernanza de las aguas subterráneas

La gobernanza efectiva del agua establece estructuras y normas necesarias para el buen manejo de las aguas subterráneas. Sin los arreglos de gobernanza adecuados para el agua subterránea, un país puede quedar expuesto al agotamiento y degradación de sus recursos de aguas subterráneas. Una gobernanza débil de las aguas subterráneas en un país, pone en riesgo la salud y seguridad alimentaria de su población, su economía, la sostenibilidad del entorno natural y, en el caso de acuíferos transfronterizos, las buenas relaciones con sus vecinos.

La gobernanza efectiva depende de políticas, leyes, acuerdos institucionales, mecanismos de implementación y la aplicación efectiva de la normativa. En su conjunto, estos elementos conforman 'la capacidad de gobernanza del agua' de una sociedad. El kit de herramientas RULE de IUCN-WANI (Iniciativa sobre Agua y Naturaleza[37]) ofrece una guía sobre cómo crear y fortalecer una capacidad efectiva de gobernanza para el agua a nivel nacional. Tal como lo dispone RULE, las reformas en la gobernanza del agua son responsabilidad del sistema gubernamental y legal de un país. Existe una gran variedad de experiencias exitosas de políticas, leyes y acuerdos para el agua, cada una ajustada a las tradiciones y el sistema de gobierno de un país. No existe una receta única para la buena gobernanza del agua, pero sí existen principios rectores que pueden ayudar a los decisores, quienes también aprenden de las experiencias de otros países.

"UNA GOBERNANZA DÉBIL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN UN PAÍS PONE EN RIESGO LA SALUD Y SEGURIDAD ALIMENTARIA DE SU POBLACIÓN."

El fortalecimiento de la capacidad de gobernanza del agua depende de una buena articulación entre políticas, leyes y arreglos institucionales. Estas deben ser coherentes y no contradictorias para evitar crear requerimientos opuestos o debilitar su implementación y ejecución. Desafortunadamente, en la mayoría de los países, los acuerdos de gobernanza del agua se han venido acumulando con el paso del tiempo y a menudo de forma fragmentada con un enfoque eminentemente sectorial (p. ej. agricultura, energía, industria, salud y saneamiento, medio ambiente) sin abordar adecuadamente las necesidades de los demás sectores en forma holística. Por consiguiente, la gobernanza del agua es una acción comúnmente fracturada y descoordinada. Esto es especialmente cierto para las aguas subterráneas, dado que son invisibles y a menudo poco comprendidas. En este contexto, el desarrollo de un sistema bien articulado de políticas, leyes e instituciones del agua subterránea, que está integrado y bien coordinado con la gobernanza de las aguas superficiales, es un pilar crítico de la gestión sostenible de las aguas subterráneas.

La gobernanza del agua también incluye la organización social, el diálogo entre los actores asociados y la acción ciudadana, que son necesarias para la gobernanza local del agua subterránea tal como se describe en el Capítulo 5. Se requiere también del uso de instrumentos económicos (Capítulo 4) e información y datos científicos (Capítulo 2). El presente capítulo se enfoca en los procesos y las estructuras gubernamentales medulares necesarias para la buena gobernanza del agua subterránea. Ello inicia con la política del agua subterránea, la cual es el plan y la estrategia gubernamental para gestionar el recurso hídrico subterráneo. Las leyes codifican políticas, fijando las reglas para la explotación y protección de los recursos de aguas subterráneas, y determinan quién tiene el derecho de uso del agua subterránea. La certeza de la ley es un componente vital para la gobernanza del agua

subterránea ya que permite, por ejemplo, que las autoridades y empresas locales planifiquen con anticipación e inviertan a largo plazo, así como también permite que los ciudadanos participen en el manejo del recurso y reclamen sus derechos. Las instituciones apropiadas, ya sea a nivel nacional, de cuenca, acuífero, local o internacional para acuíferos transfronterizos, son necesarias para ejecutar los mandatos de la ley.

3.2 Políticas para la gestión de aguas subterráneas

3.2.1 Abordajes diferenciados, pero integrados del agua subterránea y superficial

El agua subterránea difiere del agua superficial y por ende requiere de políticas especializadas. No obstante, estas deben ser concebidas como parte integral de las políticas nacionales del agua en el sentido más amplio. Se requiere de un enfoque holístico que no solo promueva la adopción de estrategias adecuadas de gestión para la sostenibilidad del agua subterránea, sino que también asegure que éstas atiendan las preocupaciones económicas y sociales interdependientes dentro del marco general para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).

La GIRH se centra en la integración, lo cual implica la coherencia en la gestión de los recursos, del agua por parte de los sectores y usuarios del agua (p. ej. agricultura, energía, salud y saneamiento, industria, ecosistemas, etc.) y entre intereses y usos divergentes, pero interdependientes, del agua. Para ser consecuentes con el marco GIRH, las políticas del agua subterránea deben considerar la eficiencia económica, sostenibilidad ecosistémica y equidad social. La explotación y protección del recurso no solo deben considerar las interconexiones entre el agua subterránea y cuerpos de agua superficial, sino que también los vínculos entre el agua, la tierra y otros recursos naturales y ecosistemas, incluyendo humedales, cuencas hidrográficas y zonas costeras adyacentes. Se debe prestar la debida atención a los servicios ecosistémicos y sus beneficios para la sociedad, los usuarios del agua, la resiliencia climática y la conservación de la biodiversidad. De hecho, un enfoque ecosistémico debe formar parte integral de un marco GIRH.[38] Un marco GIRH ayuda a fomentar el desarrollo sostenible, al asegurar que los vínculos transectoriales con el agua subterránea estén explícitamente reconocidos en la política y promover que los múltiples sectores y actores interesados busquen objetivos en común. Sin embargo, la integración del agua subterránea en la GIRH es un proceso complejo. Por tanto, las políticas deben promover procesos flexibles y adaptables del cambio que aseguren que la participación efectiva de los actores meta esté respaldada por el enfoque de "aprender haciendo".

"SE DEBE PRESTAR DEBIDA ATENCIÓN A LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y SUS BENEFICIOS."

En muchos países, la integración del agua subterránea en la gestión del agua superficial está bloqueada por omisiones en las políticas del agua que resultan en reglas y acuerdos institucionales inadecuados para la gobernanza del agua subterránea. Es muy común que los cuerpos de aguas superficiales y aguas subterráneas estén conectados hidrológicamente (excluyendo el agua subterránea fósil) (ver Capítulo 2). El uso insostenible del agua superficial tiene impactos en la recarga del agua subterránea. La extracción excesiva de agua subterránea puede influir en la disponibilidad del agua superficial, y la contaminación del agua superficial puede conducir a la contaminación de los acuíferos. A pesar de ello, las políticas del agua han desatendido las interacciones entre el agua superficial y subterránea y se han enfocado tradicionalmente en normar la protección y el uso de las aguas superficiales, conduciendo potencialmente a la fragmentación institucional y la creación de barreras de comunicación y coordinación del agua subterránea entre muchos actores (p.ej. usuarios del agua, expertos, técnicos, gestores operativos y decisores) involucrados en la planificación y gestión de los recursos hídricos.

Los arreglos necesarios para la gestión del agua subterránea varían de un lugar a otro, debido a las diferencias físicas y químicas de los acuíferos. Por ejemplo, la ubicación de las áreas de recarga, las características de almacenamiento de los acuíferos, límites y velocidad del caudal, tiempo

de residencia, pérdida por evaporación, contaminación y permanencia, todas moldean la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación o extracción excesiva (ver Capítulo 2). Además de estas diferencias hidrogeológicas, también existen diferencias en el contexto social, relacionadas con la conciencia sobre valor del agua subterránea y las prioridades otorgadas al uso de los recursos de agua subterránea. Por ende, la gestión de las aguas subterráneas requiere de políticas especializadas insertadas en una política nacional del agua más amplia, que a la vez promuevan la integración del agua superficial con el agua subterránea de forma intersectorial y que también permitan que la gestión se adapte a los contextos y las vulnerabilidades locales.

3.2.2 Desarrollo de la política de aguas subterráneas

A pesar que las demandas de una política de aguas subterráneas son complejas, existen pasos prácticos para desarrollar un marco político idóneo y efectivo para el agua subterránea. El primer paso es determinar una 'visión nacional de gestión de aguas subterráneas' que esté incluida dentro de la visión nacional para los recursos hídricos. En Sudáfrica, por ejemplo, la visión es que "el agua subterránea sea reconocida, utilizada y protegida como parte integral de los recursos hídricos de Sudáfrica".[39]

"EL PRIMER PASO ES DETERMINAR UNA 'VISIÓN NACIONAL DE GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS'."

Los objetivos de la política deben aspirar a alcanzar un balance adecuado entre la explotación de recursos disponibles de agua subterránea y la creciente demanda de agua, y a la vez respetar y conservar la calidad y cantidad del agua subterránea, y crear una vía sostenible para su uso. Estos deben fijar el alcance de la política y los resultados requeridos y, consecuentemente, ayudar a identificar los arreglos institucionales y las medidas de gestión necesarios. Las metas deben ser amplias, pero también deben atender temas específicos como, por ejemplo:

- implementar controles 'dirigidos por la fuente' para prevenir y minimizar ¬–desde la fuente del impacto– los impactos del desarrollo en la calidad del agua subterránea, mediante la imposición de controles regulatorios e la puesta en marcha de incentivos.
- implementar 'medidas dirigidas por el recurso' para gestionar los impactos en los recursos de agua subterránea, cuando ocurren, para proteger la reserva y asegurar la sostenibilidad para propósitos beneficiosos, y
- remediar la calidad del agua subterránea y por lo menos asegurar que sea apta para los diferentes usos del agua subterránea.

El tercer paso es identificar las medidas necesarias para alcanzar los objetivos de la política. Estos deben estar basados en principios rectores básicos (ver también el kit de herramientas RULE de IUCN-WANI):[40]

- ***eficiencia*** – maximizar el uso del agua subterránea bajo patrones de racionalización del consumo que beneficien a la mayoría de los consumidores y que a la vez tomen en cuenta no solo el agua, sino también otros recursos, incluyendo el capital social y humano.
- ***equidad*** – que tanto los beneficios como los costos sean compartidos y que se utilice un proceso transparente para consensuar decisiones sobre la gestión del agua subterránea.
- ***sostenibilidad*** – que la gestión del agua subterránea apoye la capacidad de resiliencia en el tiempo de la sociedad, sin debilitar la integridad del ciclo hidrológico ni los ecosistemas que dependen del agua subterránea, e incluyendo un equilibrio adecuado entre la extracción y recarga del agua subterránea.
- ***participación pública*** – que la gestión del agua subterránea esté basada en un enfoque participativo que incluya a los usuarios, planificadores y decisores en todos los niveles.
- ***transparencia*** – que el diálogo, la deliberación, toma de decisiones y documentación estén sometidas al escrutinio mediante reuniones públicas abiertas, libertad de prensa y comunicaciones regulares entre todos los actores y las autoridades públicas.

- ***rendición de cuentas*** – que los gestores y tomadores de decisiones del agua subterránea rindan cuentas de sus acciones al público.
- ***subsidiariedad*** – que las decisiones y actividades se realicen al nivel administrativo más bajo apropiado.
- ***uso conjunto*** – que el uso de las reservas de aguas superficiales y subterráneas sea equilibrado para evitar presiones excesivas o la sobreutilización de cualquier de ellas, y
- ***principio precautorio*** – que, en caso de duda sobre el daño potencial a los recursos de agua subterránea debido a la implementación de las políticas o actividades, no deba utilizarse el argumento de 'falta de plena certeza científica' como una razón para omitir o retrasar las medidas que previenen la degradación del medio ambiente.

3.2.3 Pasar de los objetivos de la política a la acción concreta

La política del agua subterránea dispone el marco para la acción nacional sobre la gestión de aguas subterráneas. Para su implementación, es crucial definir con claridad las funciones y responsabilidades –y cómo estas son diferentes a nivel nacional, subnacional y local– de todos los actores involucrados y hacer que éstas últimas comprendan con claridad sus funciones y responsabilidades. Por ejemplo, la relación con la política nacional de seguridad alimentaria, o subsidios para la perforación de pozos y bombeo, debe ser decidido a nivel nacional. Las instituciones nacionales deben, de igual manera, tener la responsabilidad de financiar un monitoreo del sistema de aguas subterráneas, así como también financiar la gestión y difusión de información sobre las aguas subterráneas. A nivel local, los actores asociados forman grupos locales de interés, tales como Asociaciones de Usuarios del Agua Subterránea, para que los usuarios del agua subterránea lleguen a acuerdos sobre acciones locales de manejo que tomen en cuenta las prioridades e intereses locales, y que luego estos usuarios asuman la responsabilidad directa de la implementación.

"SE DEBE DESARROLLAR UN PLAN NACIONAL DE GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS MEDIANTE UN PROCESO ABIERTO Y TRANSPARENTE."

Con las metas y principios definidos en una política de agua subterránea, la determinación de cuáles son las acciones necesarias depende también de la información y las evaluaciones de necesidades y demandas. Se debe recopilar información y datos de forma conjunta y participativa, por parte del personal de las agencias técnicas y los representantes de los usuarios locales del agua, para permitir la evaluación de:

- el marco legal e institucional existente
- la disponibilidad de conocimiento y capacidades técnicas
- los datos disponibles sobre los acuíferos
- la clasificación de los acuíferos según características hidrológicas y potenciales preocupaciones de manejo
- quienes son los actores meta en la gestión de las aguas subterráneas

Es necesario desarrollar un plan nacional de gestión de las aguas subterráneas que utilice las evaluaciones de diagnósticos e información disponible para identificar y priorizar las acciones requeridas. El plan debe ser elaborado mediante un proceso abierto y transparente en el cual todos los actores involucrados pertinentes puedan contribuir. Asegurar una participación efectiva (ver Capítulo 5 y el kit de herramientas NEGOTIATE de IUCN-WANI)[41] es vital para mejorar el consenso y construir compromisos para la acción.

El plan nacional de gestión de las aguas subterráneas debe fijar metas para la gestión del agua subterránea y debe fungir como una hoja de ruta para guiar la implementación. Con base en el marco proporcionado por la política y las evaluaciones diagnósticas, el plan de gestión debe establecer acciones

necesarias para tratar problemas o presiones particulares del agua subterránea dentro de contextos específicos. La Tabla 3.1 brinda ejemplos de medidas dirigidas por la fuente, dirigidas por el recurso o de remediación que pueden incluirse dentro de los planes de gestión de aguas subterráneas. Para alcanzar el objetivo general, el uso sostenible del agua subterránea requiere de un abordaje coherente que combine los tres tipos de medidas para la implementación de la política.

Tabla 3.1 Acciones especificadas en los planes de gestión de aguas subterráneas

Tipos de medidas	Propósito	Ejemplos
Dirigido por la fuente	Minimizar y prevenir impactos en la fuente	• requisitos de autorización y licenciamiento • estándares de calidad para la descarga de aguas residuales • requisitos de gestión in situ para controlar la contaminación difusa (no puntual) • manejo obligatorio y voluntario de la demanda • incentivos económicos para reducir la contaminación • desarrollo de tecnologías bajas en residuos o sin residuos
Dirigido por el recurso	Manejo del recurso	• sistema nacional para la clasificación de las aguas subterráneas • asignación de clases de manejo de aguas subterráneas • establecer objetivos de calidad según la clase de manejo • establecer una reserva para satisfacer las necesidades humanas y una reserva ecológica para proteger los ecosistemas
Remediación	Restaurar la calidad del agua subterránea o el almacenamiento del acuífero	• priorización de sitio • limpieza de sitios abandonados • respuesta de emergencia a derrames • reducción de la extracción para reestablecer la reserva

"LOS PLANES DE GESTIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEBEN SER IMPLEMENTADOS UTILIZANDO UN ENFOQUE ADAPTATIVO."

El Capítulo 5 detalla cómo implementar acciones de manejo que, a partir de la gobernanza del agua subterránea, estén respaldadas por reglas operativas para el uso y protección del agua subterránea, y que tomen en cuenta con las vulnerabilidades y usos específicos de un acuífero (ver Caso 3.1). Estas reglas necesitan ir acompañadas de programas de incentivos tanto para disuadir o fomentar acciones comunitarias, de programas de concienciación y educación para desarrollar las habilidades necesarias para que las comunidades puedan manejar el agua subterránea. Asimismo, los servicios de extensión son necesarios para asesorar y apoyar a las comunidades sobre cómo aprovechar mejor el agua subterránea. Estos deben estar basados en la investigación y desarrollo de nuevas y mejores formas del manejo del agua subterránea, la aplicación de directrices sobre mejores prácticas y el desarrollo de capacidades para ayudar a las comunidades a que ellas mismas regulen el recurso. Es importante establecer programas de monitoreo para registrar y analizar los cambios en el acuífero. Los planes de gestión de las aguas subterráneas deben ser implementados utilizando un enfoque adaptativo, que utilice el monitoreo, las lecciones aprendidas y la experiencia para actualizar y mejorar los planes a futuro.

Caso 3.1 El abordaje diferenciado de Sudáfrica[42]

En Sudáfrica, las características y los usos del agua subterránea están altamente localizados, y se ha reconocido que es física y económicamente imposible proteger todos los recursos de agua subterránea con la misma intensidad. Para una intervención efectiva y enfocada, Sudáfrica implementó un abordaje diferenciado de pro-

tección, en base a la vulnerabilidad e importancia local y regional de los acuíferos. Creó un sistema que clasificó cada acuífero del país según una función asignada ¬–tal como usos de consumo directo, usos productivos o para apoyar a ecosistemas, entre otros–, su importancia en términos de rendimiento potencial, y el nivel de dependencia de las comunidades de cada acuífero. Sin embargo, aquellos acuíferos que representan la única fuente hídrica para las comunidades reciben una condición especial independiente de su rendimiento potencial y disfrutan del nivel de protección más alto.

3.3. Marcos legales para la gestión de las aguas subterráneas

3.3.1 El rol de la ley en las aguas subterráneas

Las políticas para el desarrollo y la gestión sostenible de las aguas subterráneas necesitan codificarse en una ley. La ley dispone las reglas para la explotación y protección de los recursos de aguas subterráneas. Una postura estrecha y arcaica propone que la ley debe establecer los medios que permitan cumplir las leyes a través de los tribunales. Aunque esto es necesario, la ley de aguas subterráneas debe crear un marco estable de reglas que permita a los gobiernos y usuarios del agua subterránea planificar el manejo de las aguas subterráneas que subsista al largo plazo. Por ello, el rol de la ley en la gestión de las aguas subterráneas es establecer regulaciones donde los diferentes intereses de todos los usuarios puedan considerarse de forma justa, incluyendo los intereses del medio ambiente y futuras generaciones.

"LA LEY DISPONE LAS REGLAS PARA LA EXPLOTACIÓN Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS."

La ley de aguas subterráneas debe brindar las respuestas a preguntas muy prácticas que tienen los gobiernos, tribunales y usuarios del agua subterránea para que ellos contribuyan plenamente, y rindan cuentas, apoyando así la sostenibilidad de la gestión de las aguas subterráneas. Estas preguntas incluyen, por ejemplo:

- ¿Cuáles son los derechos y obligaciones que tienen los usuarios del agua subterránea?
- ¿Cómo están protegidos estos derechos y cómo puede aplicarse las obligaciones? ¿Quién tiene la autoridad para hacer cumplir esto?
- ¿Cómo exigirse la rendición de cuentas de aquellas actividades que afectan los recursos de agua subterránea –tales como desarrollo urbanístico, minería o agricultura– a pesar que estas se desarrollan lejos de los sitios de impacto?
- ¿Cuál es el rol de las coaliciones de usuarios del agua subterránea?
- ¿Cuál es la base legal para que los estados en un país federal puedan involucrarse en la gestión de un acuífero compartido entre estados federales?
- ¿Cuáles son las cuestiones sobre las cuales un país puede hacer reclamos legales en relación con la gestión de las aguas subterráneas en un país vecino?

Un marco legal efectivo para aguas subterráneas necesita permitir que aquellas personas y grupos con intereses relevantes puedan evitar o remediar amenazas críticas al agua subterránea, tales como la sobreexplotación y la contaminación (ver Capítulo 2). Por ejemplo, en un escenario donde el rendimiento de los pozos está disminuyendo y el agua está contaminada, los operadores de los pozos necesitan de la ley para que las partes responsables rindan cuentas y establecer las funciones y responsabilidades de un programa de remediación. Si las partes responsables –por ejemplo, una empresa cervecera sobreexplotando un acuífero u operaciones mineras que generan contaminación– son organizaciones poderosas, los ciudadanos requieren que la ley les defina los procedimientos necesarios para la protección y el reclamo justo de sus derechos. Y, en primer lugar, la ley debe ayudar a todos los involucrados a prevenir la degradación y contaminación del acuífero.

3.3.2 Extracción y uso del agua subterránea

Históricamente, los derechos de uso del agua subterránea estaban adscritos a los derechos de tierras, donde los propietarios de las tierras tienen el derecho de extraer el agua subterránea en su propiedad. El problema surge cuando el propietario vecino reclama derechos idénticos sobre el mismo recurso debido a la naturaleza compartida de una reserva de agua subterránea. Si el vecino extrae grandes cantidades de agua –para riego u operar una embotelladora–, esto puede causar que se seque el pozo del primer propietario. Tal competencia sobre el agua subterránea se agrava cuando no existen requisitos de licencias que establezcan los términos y condiciones de uso del agua subterránea, incluyendo volúmenes y tasas de extracción. Las disputas entre los propietarios de tierras conllevan a litigios y alegatos en los tribunales. Aquellas leyes que les otorgan a los propietarios de tierras los mismos derechos para reclamar la titularidad sobre las aguas subterráneas asociadas a la tendencia de la tierra, exacerban el conflicto y un litigio interminable que no ayuda a reducir el riesgo de sobre extracción y finalmente el agotamiento del recurso.

Una ley efectiva de aguas subterráneas no debería inducir a que los tribunales sean la instancia para determinar los derechos de perforación de pozos ni extracción de agua. El reconocimiento de esto ha impulsado una tendencia mundial para reemplazar las reglas que vinculan los derechos del uso de agua subterránea a la tenencia de tierras con estatutos bajo los cuales, de una manera u otra, el Estado puede regular la extracción y el uso del agua subterránea. Para cortar el ciclo de conflicto, la ley necesita reflejar la naturaleza compartida de una reserva de agua subterránea y esto lo hace:

- revocando el control exclusivo de los propietarios de tierras sobre el agua subterránea y fijando límites sobre los derechos de extracción
- colocando los recursos de agua subterránea bajo la administración del Estado y
- abriendo las oportunidades de extracción y desarrollo del agua subterránea para aquellas personas que no son propietarios de tierras.

"LA LEY DEBE ESTABLECER MECANISMOS PARA QUE LOS GOBIERNOS ADMINISTREN LOS DERECHOS DE EXTRACCIÓN."

Partiendo de la administración del recurso por parte del Estado, la ley debe establecer mecanismos para que los gobiernos administren los derechos de extracción. Los usuarios del agua subterránea, tales como familias, productores o empresas (destilerías, entre otras), por tanto, deben obtener un título administrativo del gobierno –en forma de permiso o licencia– antes de perforar un pozo o extraer y desarrollar actividades usando el agua subterránea (ver Caso 3.2). Los derechos adscritos a esos títulos administrativos están sujetos a obligaciones. Al incorporar los derechos y las obligaciones, el programa de licencias o permisos permite que los reguladores procuren el equilibrio entre el interés legítimo de los desarrolladores de acciones basadas en el uso del agua subterránea con la sostenibilidad de las tasas de extracción. Ellos pueden sopesar los derechos de las propuestas de extracción contra las necesidades hídricas de los hábitats dependientes del agua subterránea, en particular humedales y oasis. En todos los casos, el gobierno es quién debe garantizar el balance, dado que se encuentra en una mejor posición, que los propietarios de tierras, para estudiar todos los intereses que están en juego, incluyendo aquellos de biodiversidad y de beneficios para las futuras generaciones. Sin embargo, los gobiernos a su vez deben tener la capacidad adecuada para administrar la concesión de licencias sobre los derechos de extracción, así como también para hacer cumplir esos derechos y las obligaciones, o de lo contrario la ley no sería efectiva (ver Caso 3.3).

Caso 3.2 Requisitos de licencias para extracción de agua subterránea en la Ley del Agua de México

La Ley sobre Aguas Nacionales de México se promulgó en 1992 y enmendó en el 2013. Esta ley se fundamenta en que el Estado es propietario de los recursos hídricos, los cuales incluyen las aguas subterráneas. Se requiere

de una concesión del gobierno para extraer y usar el agua subterránea de un acuífero clasificado como sobreexplotado. El requisito de concesión también aplica a las extracciones vigentes, las cuales tienen restricciones regulatorias. Las concesiones se otorgan sujetas a términos y condiciones, incluyendo su duración. Esta última no puede exceder los treinta años y se puede renovar por un plazo equivalente. Además, se requiere de un permiso por separado del gobierno para perforar pozos nuevos, y para modificar pozos existentes, en acuíferos sobreexplotados. Contrario a la regla general instituida por la Ley, en la cual los titulares pueden transferir las concesiones para extracción de agua –incluyendo cesión o venta– por separado de la tierra, las únicas concesiones que no pueden ser concedidas de forma separada de las tierras son aquellas para la extracción de agua subterránea en acuíferos sobreexplotados. Sin embargo, esta regla ha sido revertida y ahora el agua subterránea puede cederse separada de la tierra, siempre y cuando las transacciones no impliquen transferencias de agua subterránea fuera del acuífero y no afecten a terceras partes. En cualquier caso, el vendedor y comprador del agua subterránea son responsables en forma conjunta del costo de sellar pozos sin usar.

Caso 3.3 Regulación del uso del agua subterránea en Sudáfrica[43]

En Sudáfrica, la Ley Nacional del Agua (NWA; Ley 36 de 1998) es la piedra angular de la gobernanza del agua subterránea y está basada en tres pilares: equidad social, eficiencia económica y sostenibilidad del medio ambiente. Esta Ley, entre otras cosas, requirió que se estableciera la Estrategia Nacional del Recurso Hídrico (NWRS por sus siglas en inglés) para fijar un marco nacional para la gestión de los recursos hídricos y la división del país en 19 Áreas de Gestión Hídrica (WMA, por sus siglas en inglés).

Contrario a lo establecido en el pasado, el agua ahora es considerada como un recurso público y, por consiguiente, está sujeta al control nacional. No existe la titularidad de agua, sino el derecho al agua para necesidades humanas básicas y para satisfacer necesidades ambientales (llamadas "La Reserva") o una autorización para su uso. La NWA y NWRS establecen disposiciones para la regulación del uso del recurso hídrico mediante el registro su uso y diferentes tipos de autorizaciones (p. ej. uso de agua, autorizaciones generales, uso legal existente y licencias para el uso del agua).

No obstante, a menudo la licencia del agua subterránea, queda incierta entre los usuarios y planificadores porque no está claro si los gobiernos locales están sujetos a la regularización, como usuarios del agua. Esto junto con el proceso lento de evaluación y aprobación de solicitudes, han resultado en una acumulación de solicitudes pendientes de procesar. Al 2011, solo un 20% del uso registrado del agua subterránea había sido verificado. La capacidad limitada del Departamento de Asuntos Hídricos para realizar esta tarea es perjudicial para la regulación efectiva del uso, y por lo tanto la aplicación del sistema de licencias es débil.

La determinación de los derechos de perforación y extracción por parte del gobierno busca prevenir el conflicto por aguas subterráneas y mantener su gestión lejos de los tribunales. Busca proteger el agua subterránea de su agotamiento, mediante un proceso de asignación de derechos de extracción después del debido análisis de todos los intereses en juego. La información es la clave del éxito. Por consiguiente, el diseño y la aplicación de la ley de aguas subterráneas necesitan ser respaldadas por datos y su análisis, incluyendo, por ejemplo, los balances hídricos y las características de los acuíferos, tal como se describe en la Sección 2.3. Por supuesto que las decisiones de los gobiernos no están inmunes a la impugnación legal y las leyes deben garantizar la disponibilidad de vías legales para que los tribunales puedan emitir sentencias sobre el caso. En resumidas cuentas, las ventajas de un proceso regulado para la asignación de recursos, dirigido por el gobierno de forma transparente, superan las desventajas.

3.3.3. Contaminación del agua subterránea y coherencia con la reglamentación del uso del suelo

Los tribunales de justicia están generalmente mal equipados para atender las complejidades de determinar la culpabilidad de la contaminación del agua subterránea. Dada la naturaleza oculta del movimiento de las aguas y los contaminantes bajo la superficie, a menudo no es posible determinar la fuente definitiva de la contaminación. Por lo tanto, el eje principal de la ley debe ser la prevención de la contaminación y la reducción y remediación de la contaminación existente. La aplicación de la ley es un componente esencial de la legislación para controlar la contaminación, trabajando conjun-

tamente con la reglamentación de prevención, medidas correctivas a costas de los infractores (quien contamina debe pagar) o, si estas no son factibles, con la imposición de sanciones financieras y el cese temporal o permanente de las actividades contaminadoras (ver Casos 3.4 y 3.5).

"LA APLICACIÓN DE LA LEY ES UN COMPONENTE ESENCIAL DE LA LEGISLACIÓN PARA CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN."

Se necesitan diferentes abordajes regulatorios para atender la contaminación de fuente difusa y puntual. Esta última ocurre cuando los contaminantes son descargados por una fuente específica, tal como una mina, planta química o planta de tratamiento de aguas residuales, y estos llegan al acuífero. En estos casos, la legislación debe requerirles a quienes emiten contaminantes que obtengan un permiso del gobierno para la descarga intencional de residuos, sujeta a obligaciones. Los reguladores luego pueden utilizar el proceso de permisos para fijar límites estrictos de la cantidad de contaminantes liberados y la tasa de descarga. Por ende, la ley debe buscar el equilibrio entre los intereses de aquellos que generan los residuos y los derechos de los usuarios que dependen del agua subterránea de buena calidad, incluyendo el abastecimiento para agua potable y conservación de los ecosistemas.

Imagen 3.1 Efluente urbano e industrial, una fuente de contaminación de las aguas subterráneas

Los permisos de descarga no son el mecanismo adecuado para regular la contaminación difusa, ya que por lo general no es posible determinar con exactitud la fuente de la contaminación. La contaminación difusa se origina en el drenaje de las tierras de cultivos o es producto de la escorrentía urbana del agua pluvial. En estos casos, la regulación tiende a estar ligada a las leyes relacionadas con el uso del suelo. El enfoque de la regulación debe cambiar de la descarga de aguas residuales a la regulación del uso y manejo del suelo. Lo mismo aplica con la contaminación de fuente puntual, tal como vertederos, basureros e instalaciones de almacenamiento subterráneo, en donde la descarga de contaminantes no es intencional, sin embargo, provocan derrames y filtración.

Caso 3.4 Regulación de la contaminación del agua subterránea en México

Bajo la Ley de Aguas Nacionales de México, promulgada en 1992 y emendada en el 2013, se requiere de un permiso del gobierno para descargar aguas residuales en o hacia el suelo, si esto conlleva un riesgo de contaminar las aguas subterráneas. Los permisos que se conceden están sujetos a términos y condiciones, incluyendo los requisitos de tratamiento y la duración de las descargas. La recarga artificial de acuíferos mediante la inyección de agua residual requiere de un permiso del gobierno.

La Ley también aborda la contaminación del agua subterránea a partir de fuentes no puntuales, en particular el riego de campos de cultivo, obligando a los usuarios que usan el agua para riego a cumplir con las normas y los estándares oficiales que restringen el uso de sustancias que pueden contaminar el agua subterránea. Aún más, la administración federal del agua busca que las normas de uso del suelo sean consecuentes con el objetivo legal de proteger la calidad, entre otros, del agua subterránea.

Finalmente, la Ley dicta que cuando la contaminación se origina a partir del incumplimiento con las disposiciones legales, el infractor es responsable de corregir el daño ocasionado al medio ambiente. Esto implica una obligación para mitigar la contaminación y restaurar el cuerpo de agua a sus condiciones originales previas a la contaminación, o, si esto no es factible, una obligación de pagar una compensación de un monto fijado por la autoridad gubernamental competente.

Caso 3.5 Regulación de la contaminación del agua subterránea en la India[44]

El marco legal y constitucional de la protección de las aguas subterráneas en la India es complejo. La razón es que la legislación sobre cuestiones de aguas subterráneas está bajo la responsabilidad de cada estado en lugar del gobierno central. Y la mayoría de estos estados han promulgado leyes que solo aplican para ciertas áreas geográficas. lo cual ha resultado en diferentes políticas que están operando a nivel federal, estatal y local.

La Ley de Agua (Prevención y Control de la Contaminación) de 1974 fue la primera legislación diseñada para controlar la contaminación del agua y estableció entes regulatorios centrales y estatales. Sin embargo, la Ley de Protección del Medio Ambiente de 1986 se encarga de la mayoría de problemas de contaminación en la India. Por otra parte, existen trece políticas y ordenanzas jurídicas adicionales relacionadas con la protección de las aguas subterráneas. La Junta Central para el Control de la Contaminación (CPCB), la Autoridad Central de Agua Subterránea (CGWA) y la Junta Central de Agua Subterránea (CGWB), a nivel estatal, son las principales agencias responsables. La Autoridad ha nombrado órganos regionales y locales (Comisionados Adjuntos o Magistrados Distritales) en cada estado para hacer cumplir las medidas regulatorias en áreas puntuales y controlar la sobreexplotación y recarga.

Las estadísticas sobre la aplicación de la ley y el cumplimiento de las ordenanzas de control de la contaminación para las diecisiete categorías de industrias altamente contaminantes, muestran que, de las 2,526 plantas industriales, 18% han sido clausuradas, 10% no cumplen con las ordenanzas correspondientes y un 71% está cumpliendo en función del grado de equipo instalado para controlar la contaminación. Por otro lado, el control de la contaminación de 3-3.5 millones de industrias de pequeña y mediana escala es menos efectivo y una gran cantidad de plantas de tratamiento de efluentes no están funcionando correctamente.

Dentro de este marco, la aplicación de la ley no es fácil y las agencias estatales no están lo suficientemente equipadas para ello, dado que carecen de material o fondos. Además, el sistema legal para la gestión de las aguas subterráneas en la India cae debajo de un marco complejo y estratificado de disposiciones constitucionales y legales a nivel central y estatal. Está claro que la gestión de las aguas subterráneas queda bajo la jurisdicción de los estados y para ello, el gobierno central ha circulado un Proyecto de Ley Modelo para Aguas Subterráneas desde 1970, el cual ha sufrido varias reformas de contenido hasta el 2011. Lamentablemente, al 2013, de los 30 Estados y Territorios de la Unión de India, la mitad ha promulgado Leyes y regulaciones relativas a las aguas subterráneas en el marco del Proyecto de Ley Modelo y solo unas cuantas lo han adoptado formalmente.

La regulación del uso del suelo también es crítica en la protección de las zonas de recarga y descarga de los acuíferos, especialmente donde existe el riesgo de agotamiento o contaminación. La regulación del uso del suelo de este tipo tiende a ser incluida en la ley del agua, mediante disposiciones que empoderan a las agencias de gestión de las aguas subterráneas del gobierno y a enfocarse en áreas

que necesitan de medidas especiales para proteger el agua subterránea (ver Caso 3.6). Estas medidas por lo general incluyen restricciones en el uso del suelo, la extracción y el uso de agua subterránea que son más estrictas que en cualquier otro lado.

Caso 3.6 Regulación de la contaminación del agua subterránea en España

La Ley del Agua de España de 1985 declaró por primera vez que todas las aguas son un recurso de dominio público, incluyendo las aguas subterráneas. No obstante, los propietarios existentes pudieron retener su titularidad privada, pero tuvieron que decidir si querían permanecer de forma permanente bajo un régimen privado (en ese caso, ellos mismos debían registrarse en el Catálogo de Aguas Privadas) o permanecer en un régimen privado transitorio, para luego convertirse en una concesión pública después del 2038. Aunque ha habido varias reformas desde entones –debido a la necesidad de adaptar la Ley de Agua de 1985 ante los nuevos desafíos y para incluir la Directiva del Marco Europeo del Agua (WFD)–, el marco general de regulación de la contaminación de aguas subterráneas ha permanecido igual.

Al igual que la Ley mexicana, solo se permite la descarga con el potencial de contaminar las aguas subterráneas, si los estudios hidrológicos previos han demostrado que ésta no presenta un riesgo para el recurso hídrico. De lo contrario, la descarga de contaminantes requiere de una autorización previa o concesión que establece, entre otros, las condiciones bajo las cuales se permite la descarga y la tarifa total que debe pagar el contaminador, según el principio de "quien contamina paga". Asimismo, la Ley dicta que se puede otorgar un permiso para establecer una actividad industrial con el potencial de generar vertidos, bajo la condición que se debe obtener una autorización para ello y que el gobierno puede prohibir actividades industriales que tengan el potencial de contaminar las aguas en ciertas áreas. En caso del incumplimiento de las condiciones dispuestas en la autorización o en caso de contaminar sin autorización, se aplicará una sanción, y la obligación de restaurar las aguas contaminadas a su condición previa a la contaminación.

Por lo tanto, se necesitan de múltiples componentes para instituir un marco legal efectivo para controlar la contaminación de las aguas subterráneas. La legislación es necesaria para regular la descarga de residuos, siempre con el respaldo de mecanismos de aplicación de la ley. Sin embargo, la ley del agua también debe ser coherente con la ley de uso del suelo y con el ordenamiento territorial municipal y nacional. Alcanzar la coherencia necesaria entre la legislación en sí y la administración del suelo es un gran desafío.

3.3.4 Intereses de los usuarios locales del agua subterránea

La ley de agua debe apuntarle al establecimiento de procedimientos y mecanismos que tomen en cuenta todos los intereses que están en juego. La participación en la administración del agua ayuda a incrementar la imparcialidad y rendición de cuentas del sistema. La participación es posible mediante arreglos informales, pero estos, por lo general, favorecen los intereses más poderosos, tal como las grandes corporaciones. La legislación contemporánea del agua demanda cada vez más el establecimiento de asociaciones formales de los usuarios del agua subterránea y ofrece un fundamento jurídico (ver el kit de herramientas RULE de IUCN-WANI). Estas asociaciones son las encargadas de la administración local y de los controles regulatorios y por tanto brindan un medio formal para que los usuarios del agua subterránea se comuniquen y coordinen la gestión junto con las autoridades del gobierno. Ayudan a asegurar que todos los grupos interesados puedan plantear sus preocupaciones y generar consenso sobre las medidas dirigidas a la protección de los acuíferos para que no se agoten o no se contaminen. Las asociaciones de los usuarios del agua subterránea por consiguiente pueden ayudar a contrapesar los intereses más poderosos e incrementar la transparencia, rendición de cuentas y efectividad en la implementación de la ley. El Capítulo 5 ahonda más en los procesos de organización social que facilitan el compromiso y las responsabilidades de los usuarios locales de agua subterránea.

"LA LEY DEL AGUA DEBE APUNTARLE AL ESTABLECIMIENTO DE PROCEDIMIENTOS Y MECANISMOS QUE TOMEN EN CUENTA TODOS LOS INTERESES QUE ESTÁN EN JUEGO."

Caso 3.7 Asociación local de usuarios del agua subterránea en Barcelona, España

La Asociación de Usuarios de Aguas Subterráneas de Bajo Llobregat (CAUDLL), en Barcelona, se formó en 1975 cuando el agua aún era de dominio privado bajo la Ley del Agua de 1876. Los factores locales favorables que fomentaron el inicio de esta asociación incluyen, en particular, la disponibilidad de estudios detallados sobre la situación de las aguas subterráneas y la concienciación consiguiente sobre el papel esencial que juega el agua subterránea en la economía local. Pero aún más importante, ya existía un alto grado de confianza entre la Administración del Agua y los usuarios del agua, quienes en su momento eran predominantemente proveedores de agua e industrias, más que usuarios agrícolas.

CAUDLL se registró como un ente privado respaldado por la Administración del Agua y las autoridades municipales. Sus objetivos eran proteger los derechos privados del agua subterránea, asegurar la disponibilidad del agua en períodos de sequía, y detener y revertir la degradación de las aguas subterráneas. Los estatutos de la asociación le permitieron recaudar fondos, sancionar a infractores y representar los derechos del agua de sus miembros.

Los resultados beneficiosos incluyen el control de nuevos desarrollos de agua subterránea, la reducción de la extracción del agua subterránea poniéndole fin al descarte de residuos en fosas, y el establecimiento de programas de monitoreo. Su éxito significó que la mayoría de los usuarios de aguas subterráneas en el Bajo Llobregat se unieran a CAUDLL y en el incremento de inversión pública nueva en el área, que de lo contrario no hubiera sucedido.

3.3.5 Ley de aguas subterráneas en países federados

Los acuíferos no respetan las fronteras administrativas y es de esperar que traslapen unidades subnacionales dentro de un país, tales como provincias o estados. En países federales como Argentina, Australia, Canadá, Alemania, India, Malasia y los Estados Unidos, la ley debe establecer reglas y procedimientos para que los estados protejan los intereses de sus ciudadanos, de los efectos de la explotación o degradación del agua subterránea que tiene lugar en otros estados. Los arreglos o acuerdos específicos para realizar esto dependen de cómo están distribuidas las responsabilidades jurisdiccionales entre los niveles federales y estatales de un país en particular.

En general, los estados de una federación que tienen conflictos sobre el uso de los recursos hídricos transfronterizos recurren a la Corte Suprema del propio país. Por ejemplo, la Corte Suprema de los Estados Unidos con frecuencia sostiene audiencias y resoluciones de disputas interestatales sobre el agua, aunque ninguna hasta ahora han involucrado las aguas subterráneas. India instituyó un mecanismo especial para la resolución de disputas interestatales sobre el agua, pero aún no ha abordado las aguas subterráneas.

En el largo plazo, los estados y sus ciudadanos se beneficiarían de acuerdos negociados para solventar problemas del agua entre estados federados. Los acuerdos negociados pueden establecer reglas adecuadas para atender usos específicos de un acuífero compartido, así como también incorporar medidas necesarias para proteger el acuífero en base a sus características específicas. No en todos los casos se necesitan de acuerdos negociados, pero donde existe la explotación excesiva de agua subterránea o el agua subterránea es particularmente vulnerable a la contaminación, estos brindan una alternativa al conflicto y litigio, con el potencial de alcanzar con mayor éxito la meta de una gestión sostenible y preventiva de aguas subterráneas. Estados en federaciones han negociado con éxito acuerdos de agua con ciertas disposiciones para aguas subterráneas, como un anexo al agua superficial. Muy pocos han tratado únicamente con aguas subterráneas, pero algunos ejemplos incluyen el Acuerdo de Agua Subterránea Fronteriza (1985) entre los Estados Australianos del sur de Australia y Victoria y el Acuerdo Interagencial del Acuífero de Aguas Subterráneas Pullman-Moscow (1992) entre los estados estadounidenses de Idaho y Washington.[45]

3.3.6 Acuíferos transfronterizos en el contexto internacional

La iniciativa de la UNESCO sobre la Gestión de Recursos de Acuíferos Compartidos a Nivel Internacional (ISARM) ha documentado y mapeado muchos acuíferos transnacionales o compartidos en todos

los continentes.[46] Los impactos transfronterizos de la explotación y gestión de las aguas subterráneas se rigen por las reglas del derecho internacional que buscan prevenir el daño entre los Estados o remediar las consecuencias del deterioro. El derecho internacional relacionado con las aguas subterráneas está regido por dos reglas fundamentales:

- ningún Estado tiene derecho de 'infligir' daños al otro lado de una frontera internacional, por sus propias acciones o aquellas de sus ciudadanos, y los Estados están obligados a tomar medidas para prevenir tal daño y tomar acción para eliminar o mitigar el daño cuando ocurre.
- todos los Estados que comparten un acuífero tienen derecho a una porción 'razonable y equitativa' de los usos del agua subterránea de aquellos acuíferos transfronterizos que tienen en común.

Estas dos reglas cardinales de la gestión de las aguas subterráneas transfronterizas y la interacción entre ellas son el núcleo de aquello comúnmente referido como derecho internacional consuetudinario y las negociaciones entre los Estados sobre los recursos compartidos de aguas subterráneas.

"LOS IMPACTOS TRANSFRONTERIZOS DE LA EXPLOTACIÓN Y GESTIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS SE RIGEN POR LAS REGLAS DEL DERECHO INTERNACIONAL."

El derecho consuetudinario internacional es vinculante para todos los Estados y es la base para los tratados y acuerdos celebrados entre los Estados que comparten un acuífero transnacional. Las reglas cardinales del derecho consuetudinario internacional, junto con varias otras reglas complementarias, fueron codificadas por la Comisión de Derecho Internacional de las Naciones Unidas (CDI). El instrumento relevante es una Resolución de la ONU que contiene la 'Ley de Acuíferos Transfronterizos' (2008).[47] Sin embargo, la resolución no es vinculante y la Asamblea General de las Naciones Unidas ha debatido desde entonces la naturaleza y los efectos de la codificación de la Ley de Acuíferos Transfronterizos por parte de la CDI.

Estos son algunos tratados y acuerdos que abordan específicamente un acuífero transfronterizo o compartido. Los más conocidos son:

- dos acuerdos sobre el Acuífero de Ginebra (1978 y 2007), compartido por Francia y Suiza
- el acuerdo para establecer un acuerdo consultivo trilateral para el Sistema del Acuífero del Sahara Noroccidental (2002-2008), compartido por Argelia, Libia y Túnez
- el acuerdo del Acuífero Guaraní (2010) compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay
- el acuerdo del Acuífero Al-Sag/Al-Disi (2015) compartido por Jordania y Arabia Saudita

El acuerdo del Acuífero de Ginebra es un instrumento complejo que abarca las extracciones controladas de agua subterránea, las operaciones controladas de recarga artificial del acuífero, el control de la contaminación, la distribución de todos los costos y una institución bilateral permanente para la administración e implementación del acuerdo. En contraste, los acuerdos de los acuíferos de Sahara Noroccidental y Guaraní son acuerdos marco, cuya pieza central es una institución interestatal para administrar el monitoreo del acuífero y para la recopilación e intercambio de datos.

Una alternativa a los tratados y acuerdos específicos sobre aguas subterráneas, y que es más común, es que los Estados incluyan el agua subterránea dentro de los acuerdos de aguas superficiales o cuencas hidrográficas de ríos o lagos transnacionales (también ver el kit de herramientas SHARE de IUCN-WANI).[48] Estos acuerdos por lo general extienden los compromisos de cooperación de la gestión de aguas superficiales y cuencas hidrológicas de ríos y lagos que han asumido los Estados para que incluyan las aguas subterráneas. Un ejemplo de ello es el Convenio del Río Danubio (1994), el Convenio de la Protección del Rin (1999), el Acuerdo Marco de la Cuenca del Río Sava (2002), el Convenio del Lago Tanganyika (2003), el Convenio del Lago Victoria (2003), el Tratado de Paz entre Israel y Jordania (1994), y el Protocolo de Calidad de Agua de los Grandes Lagos entre Canadá y los Estados Unidos de América (1983), enmendando el Acuerdo de Calidad de Agua de los Grandes Lagos (1978).

3.4 Arquitectura institucional para la gestión de aguas subterráneas

3.4.1 Coordinación, subsidiariedad y descentralización

Las funciones de las instituciones del agua son implementar políticas y normas, traducir decisiones en acciones y asegurar que las regulaciones, procedimientos y aplicación de la ley estipulados por la ley se cumplan. No existe ninguna receta simple para el marco institucional de una nación sobre la gestión del agua o aguas subterráneas. La mejor configuración institucional para cualquier país dependerá de su sistema de gobierno y de otros factores incluyendo el contexto climático e hidrológico y las circunstancias sociales y económicas donde se llevará acabo la gestión del agua. La gestión del agua, ya sea para aguas superficiales o subterráneas, debe trabajar en varios niveles, entre las comunidades locales y los niveles nacional e internacional. En todos los casos, las instituciones asociadas a la gobernanza del agua y agua subterránea son una combinación entre ministerios, agencias, organizaciones de cuencas y corporaciones, cada una con diferentes competencias y niveles de jurisdicción. Debido al carácter transversal del agua, las instituciones de otros sectores, tales como agricultura, uso del suelo, energía, salud y saneamiento, también están involucradas en la toma de decisiones sobre el agua. Las funciones y responsabilidades deben quedar claras para cada institución, de preferencia por medio de mandatos que están articulados con claridad en la ley, y la coordinación entre ellas es crítica.

La arquitectura institucional básica para el agua y las aguas subterráneas tiende a ser diferente entre los Estados unitarios y federados. Existe una tendencia en lo países con una estructura gubernamental unitaria de desarrollar fuertes instituciones del agua a nivel nacional, debajo de la cual existe una jerarquía de instituciones que implementan la gestión del agua a niveles más bajos. En Estados federados, las instituciones del agua a nivel subnacional (provincial o estatal) por lo general poseen un mayor grado de autonomía, con mayor participación de los usuarios del agua. Por ejemplo, en Australia, las instituciones al nivel de estados (subnacional) emiten políticas generales, lineamientos estratégicos y parámetros técnicos para la gestión, que luego son implementados por las autoridades locales mediante esquemas y proyectos de gestión de aguas específicos y adaptados a la localidad.

"LAS INSTITUCIONES DEL AGUA TRADUCEN LAS DECISIONES EN ACCIONES."

Es importante que aquellos que estén liderando o facilitando un proceso para mejorar el manejo de aguas subterráneas realicen una evaluación de la configuración institucional existente y cómo esta se puede cambiar para hacerla más efectiva. Esto puede realizarse mediante un proceso en el cual las instituciones involucradas en la administración o gestión de las aguas subterráneas son identificadas y sus funciones y responsabilidades están descritas y comparadas. A partir de tal evaluación —como se detalla más adelante en el Capítulo 5—, se detectan brechas y debilidades en los mandatos institucionales, así como también se detectan aquellas instituciones con mandatos ambiguos o que se traslapan, lo cual conduce a bloqueos en el proceso de implementación de una buena gobernanza de aguas subterráneas. Con esta información, entonces es posible priorizar los cambios necesarios en los mandatos y operaciones de las instituciones y, de ser necesario, crear de nuevas instituciones.

El principio de subsidiariedad es una guía importante para las necesidades, funciones y responsabilidades institucionales. Este principio sostiene que las decisiones y actividades claves deben realizarse al nivel administrativo más bajo posible, ya que las autoridades locales y ciudadanos están mejor posicionados para definir sus necesidades en relación con la gestión del agua y el contexto local. Luego, las autoridades nacionales deben intervenir únicamente para ejecutar medidas las cuales las instituciones locales no tienen las capacidades para implementarlas o en caso de inacción local.

"EL PRINCIPIO DE SUBSIDIARIEDAD ES UNA GUÍA IMPORTANTE PARA LAS FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES."

Una consecuencia directa de la subsidiariedad es el aumento en la participación pública y organización social. El resultado es un mayor compromiso de las autoridades locales, organizaciones de la sociedad civil y ciudadanos y su empoderamiento para implementar una mejor gestión. A mayor compromiso, también mayores son las probabilidades de logar con éxito los cambios necesarios para una gestión sostenible de las aguas subterráneas. El Capítulo 5 describe en detalle lo que supone todo esto.

La subsidiariedad no implica que las autoridades al más alto nivel no tengan funciones críticas. Al contrario, el gobierno nacional, al cumplir con sus responsabilidades de rectoría de todos los recursos hídricos, diseña el marco general para la protección y uso sostenible del agua subterránea. Define el plan estratégico para la gestión de las aguas subterráneas y se asegura que los recursos necesarios para la implementación estén disponibles y asignados adecuadamente. También asegura que los estudios científicos y el análisis de datos respalden la toma de decisión nacional y que los niveles inferiores emprendan acciones y estén disponibles.

En el caso de los acuíferos transnacionales o compartidos, si existe una institución internacional, ésta debe liderar un proceso conjunto de planificación estratégica entre los países pertinentes. Dependiendo de los términos del tratado o acuerdo entre los países que comparten un acuífero, la institución internacional también puede jugar un papel en los estudios conjuntos, la recopilación e intercambio de información y, en algunos casos, la movilización conjunta de financiamiento.

Con base en el principio de subsidiariedad, la Tabla 3.2 resume una configuración institucional genérica para la gestión de las aguas subterráneas y define funciones de las instituciones que trabajan en los diferentes niveles.

Tabla 3.2 Configuración institucional para la gestión de aguas subterráneas[49]

Institución	Jurisdicción	Función
Autoridad Internacional de Acuíferos	Internacional /Interestatal	• Planificación estratégica sobre la gestión de acuíferos compartidos • Las decisiones afectan a nivel nacional
Autoridad Nacional del Agua o Comisión de Coordinación Interministerial	Nacional	• Elaboración de políticas, planificación y coordinación • Asegurar la coordinación al nivel político más alto entre los diferentes ministerios y agencias • Desarrollo de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) para • Esquemas y Estrategias de Planificación Espacial del Uso del Suelo • Procedimientos para la coordinación con autoridades locales, organizaciones para la gestión de acuíferos y organizaciones de usuarios del agua • Licencia para perforación de pozos y extracción de agua subterránea • Control de la contaminación de fuentes puntuales y no puntuales de agua subterránea • Asignación de recursos para la inversión en el sector hídrico
Autoridad de Cuencas Hidrográficas	Cuenca /Subcuenca	• Coordinación de las tasas de extracción en relación con todos acuíferos conectados a la cuenca superficial • Exigir el manejo en casos de sequías y emergencias • Definir políticas de control y protección • Controlar las operaciones de recarga artificial de los acuíferos • Controlar la contaminación de fuentes puntuales y no puntuales de las aguas subterráneas
Organizaciones para la Gestión de Acuíferos	Acuífero	• Fijar parámetros técnicos para la extracción y el uso de los acuíferos • Desarrollar programas para la gestión integrada de los acuíferos y sus monitoreos • Coordinar con instituciones del más alto nivel y asociaciones de usuarios de agua • Procedimientos de sanciones
Asociaciones de Usuarios del Agua	Local	• Gestión relacionada con el suministro de agua municipal, alcantarillado, saneamiento, riego de áreas pequeñas y grandes y sistemas de suministro para viviendas • Participación en la formulación de directrices de aguas subterráneas • Generación de propuestas de políticas locales y reglas locales • Representación de los usuarios locales del agua ante la autoridad Nacional del Agua en temas relacionados a la gestión de sus recursos de aguas subterráneas • Monitorear a la implementación de políticas y planes de gestión

3.4.2 La función de una organización para la gestión de acuíferos

El agua debe ser manejada como un recurso indivisible, con una buena coordinación entre la gestión de aguas superficiales y aguas subterráneas. Si se agrega una agencia separada para la gestión de las aguas subterráneas a nivel nacional, además de una agencia para la gestión de aguas superficiales, esto tiende a incrementar la fragmentación institucional. Por consiguiente, un mejor arreglo sería que todas las aguas estén administradas a nivel nacional por una sola autoridad gubernamental efectiva.

Una sola agencia nacional del agua, con responsabilidades tanto para aguas superficiales como subterráneas, es consecuente con los principios de GIRH y garantiza que toda la experiencia y los recursos técnicos, humanos y financieros existentes estén disponibles a nivel nacional desde una institución unificada. Hay que tener en mente que las características hidrogeológicas de los cuerpos de aguas subterráneas hacen que éstos sean diferentes a las aguas superficiales y, por consiguiente, su manejo es diferente; y, en todo caso, no todos los acuíferos están vinculados hidrológicamente a ríos o lagos (p. ej. acuíferos fósiles sin recarga). Además, la relación aguas arriba/aguas abajo, típica de las aguas superficiales, junto con sus dinámicas de energía asociadas entre usuarios del agua, tiene muy poco que ver con las aguas subterráneas, y el alcance espacial y temporal de las aguas subterráneas es muy diferente al de las aguas superficiales. Mientras que la autoridad se instituye en una sola agencia nacional, es necesario realizar arreglos para garantizar que la planificación de la gestión de las aguas subterráneas no sea marginalizada ni secundaria a la gestión de aguas superficiales, a pesar que esté integrada en el marco más amplio de GIRH.

"EL AGUA DEBE SER MANEJADA COMO UN RECURSO INDIVISIBLE, CON UNA BUENA COORDINACIÓN ENTRE LA GESTIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES Y AGUAS SUBTERRÁNEAS."

No obstante, por debajo del nivel nacional existen ventajas tras crear organizaciones con mandatos separados y específicos para la implementación de la gestión de aguas subterráneas. Tales organizaciones para la gestión de las aguas subterráneas deben trabajar en estrecha coordinación con las autoridades nacionales del agua y las organizaciones de las cuencas hidrográficas, así como también con las asociaciones de los usuarios del agua a nivel local. Con un mandato separado, una organización para la gestión de acuíferos puede trabajar para contrarrestar la tendencia histórica y extendida de marginalizar a la gestión del agua subterránea y asignarle pocos recursos debido a la naturaleza invisible del recurso (Caso 3.8).

Caso 3.8 Comité técnico de Huichapán-Tecozautla-Nopala, México

El territorio de las municipalidades de Huichapán-Tecozautla-Nopala está ubicado en el noreste del estado de Hidalgo en México. El agua superficial es escasa en esa región y esto ha conducido a la explotación intensiva de las aguas subterráneas, junto con desafíos complejos para satisfacer las necesidades hídricas. Como respuesta, se implementó una estrategia que promueve la conservación y gestión de aguas subterráneas, como la base para sostener el desarrollo continuo del acuífero.

En este contexto, se estableció el Comité Técnico del Acuífero de Huichapán-Tecozautla-Nopala con el propósito de formular, proponer, promover y monitorear la implementación de la gestión de aguas subterráneas. El mandato del comité es garantizar el uso eficiente del agua subterránea y lograr, en el menor tiempo posible, estabilizar los niveles del agua subterránea. Esto requiere solventar la sobre extracción de 10.4 millones de m3 por año. Para cumplir con este objetivo, el Comité desarrolló un Plan de Gestión del Acuífero utilizando procesos participativos que involucran a representantes de los usuarios del agua, expertos multidisciplinarios y unidades de tres niveles de gobierno (municipalidades de Huichapán, Tecozautla, Nopala, el Estado de Hidalgo y el Estado Federal de México representado por la Autoridad Nacional del Agua –CONAGUA).

Las actividades implementadas por el Comité Técnico incluyen: promover de investigación científica adicional; proyectos y actividades para mejorar el desarrollo sostenible; modernización de los sistemas de riego; mejorar la aplicación del marco legal; regulación del acuífero; fomentar el desarrollo institucional para la gestión integral del acuífero; establecer mecanismos de comunicación y coordinación; promover una cultura del agua; fortalecer y optimizar la operación de sistemas de agua potable; y desarrollar infraestructura para el desarrollo urbano y modalidades rentables de cultivo en la región.

La Tabla 3.2 detalla las tareas principales de una organización para la gestión de acuíferos. Además, las organizaciones para la gestión de acuíferos deben priorizar la investigación científica que conduce a una mejor comprensión del acuífero y sus necesidades de manejo. Solo es posible alcanzar una buena gobernanza del agua, si las decisiones, los planes y las aprobaciones para el desarrollo y manejo de

las aguas subterráneas están basadas en datos e información necesaria y actualizada con regularidad. Por tanto, las organizaciones para la gestión de acuíferos juegan un papel crítico para aumentar el conocimiento sobre los recursos de aguas subterráneas en sus jurisdicciones y luego asegurarse que esté disponible para aplicarse en un apoyo a la buena gobernanza necesaria para alcanzar una gestión sostenible de los recursos de aguas subterráneas.

3.5 Lista de verificación: Potenciando la buena gobernanza del agua subterránea

Desarrollar una visión y objetivos políticos para el agua subterránea

- Desarrollar un plan nacional de gestión de las aguas subterráneas (PNGAS) a través de un proceso de diálogo y acción concertada con todos los actores y la formulación de una visión, objetivos de la política y medidas necesarias para alcanzar un balance adecuado entre la recarga y extracción y entre el uso y demanda sostenibles.
- Recopilación, verificación cruzada y organización de datos e información pertinentes sobre los recursos de aguas subterráneas y sus usos.

Desarrollar una legislación adecuada para las aguas subterráneas

- Diseñar leyes de aguas subterráneas con mecanismos para que el gobierno administre la asignación de recursos hídricos y derechos de extracción en base a permisos y licencias, incluyendo obligaciones para asegurar la sostenibilidad del recurso.
- Fijar límites estrictos sobre la cantidad de contaminantes que se pueden liberar y la tasa de descarga.
- Equilibrar los intereses de aquellos que generan residuos contaminantes con el derecho de los usuarios al acceso a agua subterránea de buena calidad, incluyendo el abastecimiento de agua potable y para la conservación de ecosistemas.
- Regular el uso del suelo para proteger las zonas de recarga y descarga de los acuíferos, especialmente de aquellos que corren el riesgo de agotamiento o contaminación, incluyendo medidas que fijan restricciones en el uso del suelo y la extracción y uso del agua subterránea.
- Facilitar marcos legales para las organizaciones para la gestión de acuíferos y asociaciones locales de usuarios del agua subterránea.

Evaluar y desarrollar la arquitectura institucional necesaria

- Mapear las instituciones que están involucradas en la administración o gestión del agua subterránea, junto con sus funciones y responsabilidades para identificar brechas, debilidades y bloqueos que previenen la implementación de políticas y leyes de aguas subterráneas.
- Priorizar los cambios necesarios en los mandatos y las operaciones de las instituciones y, de ser necesario, crear nuevas instituciones.
- Asegurar que las aguas superficiales y subterráneas puedan manejarse como un recurso indivisible bajo una sola autoridad nacional del agua, y la necesidad de arreglos para garantizar que no se marginalice la gestión de aguas subterráneas, tal como la creación de agencias de gestión para acuíferos bajo la autoridad nacional.
- Implementar una estrecha coordinación, con una definición clara de funciones y responsabilidades entre las agencias de gestión para los acuíferos, las autoridades nacionales del agua, las organizaciones de las cuencas hidrológicas y las asociaciones locales de usuarios del agua.

NUBIAN
SANDSTONE
RUM-
SAQ
TH
GUARANI

Capítulo 4

Instrumentos y principios económicos para la gestión sostenible de las aguas subterráneas

4.1 Dimensiones económicas del agua subterránea

El agua subterránea de buena calidad se ha vuelto cada vez más escasa en algunas áreas húmedas y en la mayoría de las regiones áridas. La razón principal de esto, es el fracaso general de los gobiernos por controlar la extracción a niveles que eviten el serio daño de degradación ambiental y el impacto a terceros, y de proporcionarles a los acuíferos una protección efectiva contra de la contaminación.[50] Un factor que ha contribuido a ello, es que los usuarios individuales del agua subterránea no han tenido que pagar nada parecido al 'costo económico real' por usar el agua subterránea, y que aquellos que contaminan el agua no han tenido que pagar para limpiar su contaminación.[51] Asignarle valor al agua subterránea cobra menos importancia en situaciones de abundancia, pero cuando el agua de buena calidad se vuelve escasa y está sujeta demandas concurrentes, entonces el valor de agua subterránea aumenta. Por lo tanto, se deben tomar decisiones sobre cuándo usarla o si usarla o no, y sobre cómo manejar y fijarle un precio a su uso.[52]

Es posible utilizar principios económicos para guiar esas decisiones. Desarrollar un mejor conocimiento sobre las dimensiones económicas del agua subterránea ayudará a los gobiernos, y a los usuarios y contaminantes del agua subterránea, a desarrollar y aplicar instrumentos económicos – los cuales son mecanismos para crear incentivos y desincentivos económicos – como un aporte para promover un manejo más sostenible del agua subterránea.[53]

La aplicación de los principios económicos para el manejo del agua subterránea se beneficia de conocer:

- Los factores socioeconómicos de la demanda de agua subterránea y de la contaminación de los acuíferos,
- Principios y métodos para realizar una buena valoración económica de los recursos de agua subterránea, e
- Incentivos y políticas económicas que fomentan el comportamiento alineado con el manejo sostenible del agua subterránea.

"LOS USUARIOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA NO HAN TENIDO NADA PARECIDO AL 'COSTO ECONÓMICO REAL' POR USAR EL AGUA SUBTERRÁNEA".

Los principios e instrumentos económicos son herramientas importantes para implementar la política sobre gestión sostenible de las aguas subterráneas. Estos se utilizan junto con una combinación de medidas regulatorias y mecanismos participativos adecuados a la hidrogeología local y el entorno socioeconómico e institucional. Para que los instrumentos económicos sean efectivos en la gestión de aguas subterráneas, estos deben desplegarse en paquetes junto con las otras herramientas y medidas presentadas en ACUÍFEROS y utilizando una secuenciación adaptada al contexto específico del manejo de aguas subterráneas.[54]

La subvaloración del recurso de aguas subterráneas contribuye a problemas de extracción excesiva, baja productividad en el consumo del agua y una inversión individual y comunitaria inadecuada para proteger la calidad. Sin embargo, es bastante simplista pensar que los problemas

de degradación del agua subterránea pueden atenderse simple y sencillamente mediante el uso de instrumentos económicos, tales como tarifas más altas de extracción o consumo y por la descarga de contaminantes. Pues, en esencia, el agua es uno de muchos componentes del costo del desarrollo urbano, la producción agrícola y la actividad industrial. Incluso el comportamiento de los usuarios y contaminadores de aguas subterráneas puede ser bastante insensible a la variación en el costo del recurso.[55]

En términos generales, promover el uso sostenible y la protección efectiva de la calidad de las aguas subterráneas requiere principalmente de los siguientes elementos económicos y financieros:

- una valoración realista de los beneficios de los recursos sostenibles de agua subterránea para los medios de vida y el bienestar del ser humano, incluyendo los ecosistemas en las zonas de recarga y descarga de agua subterránea;
- buscar sinergias y compensación entre la conservación del agua subterránea y el desarrollo económico, al reducir tasa de explotación del recurso y estimular una mayor eficiciencia en el usodel agua;
- incorporar más incentivos económicos positivos para la conservación del agua subterránea a nivel de la política nacional, y a nivel local a través de cobros por uso, imposición de sanciones a las actividades contaminantes y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos para la recarga de acuíferos; y
- movilización financiera para la implementación de medidas específicas de manejo y protección.

4.2 Factores socioeconómicos del uso y la contaminación del agua subterránea

4.2.1 Identificación de factores

Evaluar los principales factores socioeconómicos, que impulsan el uso excesivo de las aguas subterráneas y que causan riesgo de contaminación, es esencial para diagnosticar cómo se agotaron las fuentes de aguas subterráneas o por qué corren un alto riesgo de que su calidad se degrade.[56] Este es un punto de partida crítico cuando se trata de identificar soluciones efectivas y sostenibles para estos problemas[57] – y para este propósito es necesario distinguir claramente entre:

- agricultura extensiva de regadío: el principal consumidor (y, a veces, un gran contaminador) de las fuentes de agua subterránea,[58] y
- urbanización e industria: un usuario significativo (y usuario contaminante) de las fuentes de agua subterránea.

Normalmente, el factor principal que controla la explotación de las aguas subterráneas es su costo en relación con las fuentes alternativas de suministro de agua. Teniendo en cuenta las ventajas que ofrece de excelente calidad y apoyo en tiempos de sequía, estos costos a menudo se distorsionan de formas más sutiles. Por tanto, es esencial evaluar con diligencia si las políticas públicas existentes (o también las privadas) son la fuente de 'incentivos perversos' que constituyen un obstáculo importante para la implementación de medidas de gestión para las aguas subterráneas.[59]

El sector agrícola a menudo se beneficia de las medidas implementadas por el gobierno para estimular el desarrollo agrícola, dada su importancia para la economía de la mayoría de los países.[60] Algunas de estas medidas dificultan aún más el manejo sostenible de las aguas subterráneas, por ejemplo:

- garantías de precios para cultivos que consumen agua (tales como el arroz con cáscara y la caña de azúcar);
- subsidios o créditos blandos para la construcción de pozos de agua;

- tarifas fijas para la electricidad rural para el bombeo de aguas subterráneas en áreas de riego[61]; y
- subsidio a los precios de productos agroquímicos sintéticos (y a veces productos químicos industriales comunes) que persisten en el subsuelo y representan un riesgo para las aguas subterráneas.

Al formular enfoques para el manejo del agua subterránea, siempre es necesario plantear la pregunta '¿cuál es el equilibrio entre los beneficios económicos y los costos ambientales de cada uso del recurso o actividad contaminante?' – y luego, priorizar la acción de manejo en relación con aquellos usos y actividades que ofrecen beneficios económicos limitados contra grandes costos ambientales.[62] Un ejemplo clásico de ello es la aplicación excesiva de fertilizante nitrogenado a cultivos arables, especialmente en épocas del año cuando la nitrificación natural del suelo es suficiente para satisfacer las necesidades de los cultivos, y donde la mayoría se filtra al agua subterránea.[63]

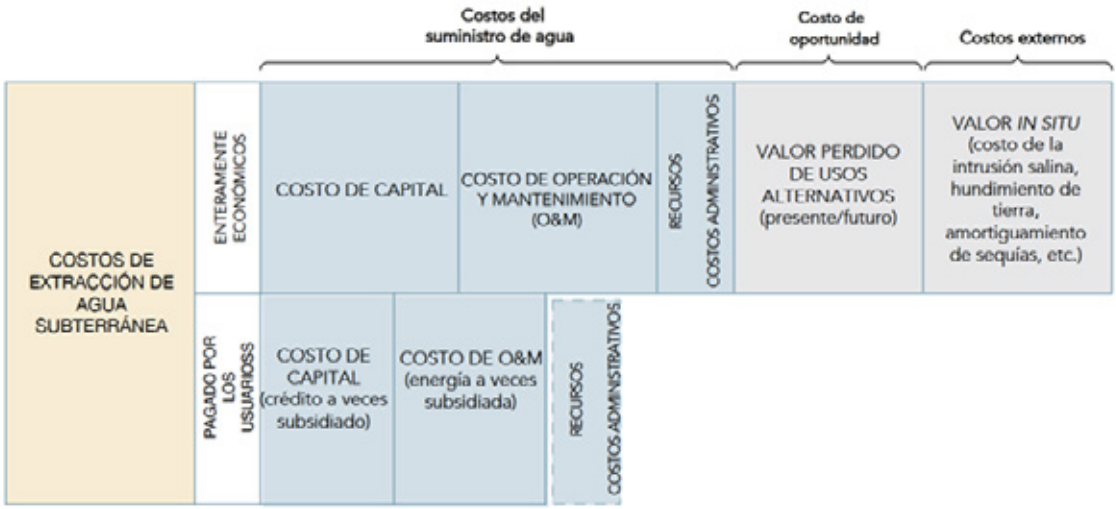
4.2.2 El problema de la subvaloración

El agua subterránea tiende a ser subvalorada, especialmente cuando su explotación no está controlada. En esta situación, el usuario del recurso recibe todos los beneficios del uso del agua subterránea, pero paga únicamente una parte de los costos, y en muchos casos solo el costo de capital de la construcción del pozo y el costo recurrente del bombeo. Incluso estos costos pueden ser menores debido a subsidios para la construcción de pozos y de electricidad rural. Esta subvaloración de las aguas subterráneas por lo general conduce a problemas de uso ineficiente y extracción excesiva.

La Figura 4.1 presenta el 'costo económico real' del uso del agua subterránea, incluyendo los costos de capital, operaciones, administración y mantenimiento. A menudo existe una brecha (especialmente países en vías de desarrollo) entre los costos que suelen cubrir los usuarios y los costos económicos totales,[64] cuando se incluyen las externalidades ambientales, los costos de oportunidad y de administración de recursos. En algunas economías más desarrolladas, esta brecha se ha cerrado al menos parcialmente – por ejemplo, al aplicar una ponderación empírica considerable al 'cargo por administración de recursos' para todos los pozos de agua en las cercanías de ecosistemas acuáticos claves o en áreas propensas a hundimientos de tierra inducidos por la extracción de agua subterránea.

"EL AGUA SUBTERRÁNEA TIENDE A SER SUBVALORADA."

Figura 4.1 Comparación entre los costos económicos totales por uso del agua subterránea y los costos comúnmente pagados por los usuarios[65]



Los economistas usan el término 'externalidades' para determinar los costos o beneficios que se transfieren a la sociedad en su conjunto y que no se incluyen directamente en el costo de la actividad o producto en cuestión. Las externalidades por el uso del agua subterránea surgen cuando el uso por parte de una persona tiene consecuencias para terceros o para la sociedad, pero no se proporciona ninguna compensación por los daños causados ni recompensa por los beneficios generados. El resultado –en el caso de externalidades negativas– es que las personas que extraen, usan o contaminan las fuentes de agua subterránea no se hacen cargo de todos los costos de sus acciones. Y no existen incentivos para tomar en cuenta estos costos en sus decisiones de manejo. Lo mismo ocurre cuando el manejo inadecuado del suelo tiene un impacto negativo en la calidad del agua subterránea. Por ejemplo, la industria puede operar a un costo menor, si los productos químicos y los efluentes no se manejan en un sitio industrial asignado para proteger el agua subterránea subyacente, pero la sociedad tiene que pagar los costos del daño ambiental e incluso puede llegar a gastar más para garantizar un suministro público de agua con una calidad aceptable.

El agua subterránea no genera valor solo con su extracción y uso productivo. También hay un valor asociado con los servicios in situ que ocurren como consecuencia del agua que permanece en el acuífero. Por ejemplo, existe un valor asociado con la capacidad de las reservas de agua subterránea para amortiguar las sequías periódicas que afectan las aguas superficiales, o por la protección que ofrecen las aguas subterráneas contra la intrusión de agua de mar y el hundimiento del suelo.[66]

El resultado neto de la subvaloración es que las decisiones relacionadas con el agua subterránea a menudo no están adecuadamente informadas sobre los 'costos reales' del uso excesivo o la contaminación insidiosa. Los costos sociales y económicos más amplios asociados con el agotamiento o la degradación de los acuíferos son a menudo ignorados y por ende las decisiones que se toman pueedn resultar en escenarios insostenibles.

4.3 Valoración de las fuentes de agua subterránea

4.3.1 ¿Por qué valorar las aguas subterráneas?

El valor que las personas les otorgan a las aguas subterráneas (en sus diferentes usos) depende de muchos factores además de los aspectos económicos. No obstante, ponerle un valor económico al recurso debería ayudar a los planificadores a decidir cuáles son los usos prioritarios y brindar asesoramiento sobre cómo manejarlo de una forma más equitativa y eficiente. La valoración económica de las aguas subterráneas requiere diferencias entre:

- Los flujos de aguas subterráneas - el componente renovable del recurso, y
- Las reservas de agua subterránea - es decir, el capital en sí que representa el agua almacenada en los acuíferos y que sirve para la mitigación de la sequía y la adaptación al cambio climático, y para el cual la explotación a menudo implica mayores externalidades ambientales.

Desde una perspectiva económica, es importante evaluar qué usos de los flujos y las reservas de aguas subterráneas generan el mayor rendimiento monetario. Por lo tanto, la valoración implica sopesar los beneficios y costos comparativos de las diferentes opciones de uso de las aguas subterráneas. Sin embargo, esto es más que solo una tarea simple y sencilla, y deben tomarse en cuenta muchas consideraciones para garantizar que los valores resultantes sean los más preciso e inclusivos posibles.

"DARLE UN VALOR ECONÓMICO AL RECURSO DEBERÍA AYUDAR A LOS PLANIFICADORES A DECIDIR CUÁLES SON LOS USOS PRIORITARIOS."

Algunos sostienen que ponerle un precio más realista al uso del agua subterránea privará a los pobres del acceso a la fuente de agua potable y agricultura de subsistencia. Sin embargo, es el cargo promedio gravado, el cual es relevante para el manejo de los recursos hídricos, y los subsidios se pueden incorporar en las estructuras tarifarias para contemplar las consideraciones a favor de los pobres. Por

ejemplo, a mediados de la década de los 80, a los desarrolladores de una mina de diamantes altamente productiva en Kalahari, Botsuana, cuya mina utiliza primordialmente el agua subterránea no renovable en un acuífero profundo, se les requirió profundizar todos los pozos de agua de la aldea y de ganado de una gran área adyacente y así compensar a los propietarios y operadores aledaños por aumentar sus costos de bombeo.[67]

4.3.2 Cómo valorar el agua subterránea

Las técnicas rigurosas de valoración económica de las aguas subterráneas están menos desarrolladas que aquellas para aguas superficiales. La valoración es aún más difícil dada la complejidad de los factores hidrogeológicos que determinan la respuesta de los acuíferos a diferentes regímenes de extracción impuesto, la carga de contaminación y los impactos socioeconómicos resultantes. En los análisis financieros (orientados a evaluar la rentabilidad "privada"), solo se toman en cuenta aquellos valores para los que existe un precio de mercado. Pero, varios de los costos asociados con el uso excesivo de agua subterránea y los efectos de la contaminación están fuera de los mercados formales, y por ende sujetos a la incertidumbre. Por lo tanto, el uso de técnicas de valoración para las aguas subterráneas necesita combinar las habilidades especializadas de los hidrogeólogos y los economistas ambientales.

Es importante distinguir entre la valoración del agua subterránea desde la perspectiva del usuario del agua (por ejemplo, un agricultor de riego, un usuario de agua doméstica o una empresa de suministro de agua) y la valoración de quiénes formulan las políticas públicas orientadas a la conservación y beneficios de la sociedad en su conjunto (un ministerio del medio ambiente o una agencia de recursos hídricos).[68] En la mayoría de los casos, los usuarios del agua solo se preocuparán por los costos y beneficios que ingresan directamente en su ecuación de producción o consumo privado –lo que los economistas denominan análisis financiero. Al contrario, los tomadores de decisiones públicas están (al menos en principio) preocupados por el bienestar de la sociedad en su totalidad y en maximizar los objetivos de interés público –lo cual requiere considerar una gama completa de costos y beneficios para todos los usos y usuarios del agua subterránea, y a esto se le denomina análisis económico.

Como punto de partida para la valoración, es sensato analizar los métodos de valoración del agua subterránea desde un punto de vista meramente financiero, dejando a un lado, por el momento, las externalidades ambientales. Desde el punto de vista económico, el valor de un recurso depende de qué puede uno hacer con el recurso (los beneficios que genera y los servicios que brinda) y de su relativa escasez en comparación con recursos alternativos. Por lo tanto, el valor económico del agua subterránea en un acuífero específico se deriva del uso que se le puede dar, y de su disponibilidad y calidad local en comparación con fuentes alternativas de agua (Caso 4.1). Por ejemplo, un acuífero en una región con abundante agua superficial no contaminada, en general, tiene un valor económico menor que aquel en un área con agua superficial contaminada o en una región árida sin mucha agua superficial. Como resultado, en muchas regiones, el valor económico del agua subterránea está aumentando debido a:

- el crecimiento demográfico y desarrollo económico (que aumenta la demanda);
- contaminación de las aguas superficiales (que disminuye la calidad de suministro); y
- una mayor variabilidad climática (que requiere del almacenamiento de los acuíferos para un 'suministro seguro de agua contra la sequía').

"EL VALOR ECONÓMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA SE DERIVA DEL USO QUE SE LE PUEDE DAR."

Caso 4.1 Valoración del sistema de aguas subterráneas del Condado de Orange, California, EE.UU.[69]

El caso del Condado de Orange, desde los procesos emprendidos durante la década de los 90, proporciona un ejemplo sobre la valoración de un acuífero a través de la estimación de cuánto costaría reemplazar el uso de las

fuentes de agua subterránea. El sistema de agua subterránea del Condado de Orange se vio amenazado por la intrusión de agua del mar con los siguientes impactos principales:

- deterioro del acuífero como reserva de almacenamiento: si el almacenamiento de agua subterránea deja de ser un suministro continuo para abastecer la alta demanda diaria y estacional, entonces se requerirán de instalaciones superficiales alternativas a un costo muy alto debido a los precios elevados de la tierra y costos de construcción.
- degradación de las reservas de agua potable: Si ocurre la salinización parcial, será necesario construir una nueva fuente de suministro de agua potable, o desarrollar sistemas de purificación del agua, y las pérdidas económicas relacionadas con la inversión de capital en pozos de agua existentes serían considerables.
- pérdida de un distribuidor natural de agua dulce: a falta de agua subterránea disponible, entonces será necesario un sistema de distribución para brindarles agua a los consumidores de un área grande a partir de una alternativa superficial u otros mecanismos.

El valor de la función del suministro de agua potable es particularmente importante. El agua subterránea es generalmente menos costosa que el agua importada, principalmente debido a los menores costos de desarrollo, transporte y tratamiento. Los usuarios comerciales e industriales pudieron satisfacer aproximadamente el 75% de su demanda de agua, bombeando agua subterránea local – y el precio estimado de esta agua fue de US$ 0.11/m3, en comparación con el costo del agua importada de US$ 0.23/m3 (para un suministro estacional) a US$ 0.35/m3 (para un suministro perenne). Los usuarios locales dependen primero del agua subterránea local y la complementan comprando agua importada a precios bajos durante los meses de invierno. En 1995, el costo total de la compra de agua fue de aproximadamente US$ 92 millones. Pero, si se hubiese perdido el sistema de agua subterránea, el costo se habría duplicado a US$ 183 millones. Este ahorro económico es una medida objetiva del valor de los recursos locales de agua subterránea (aunque es una estimación del límite inferior del valor real). Estos altos valores económicos ayudan a justificar la inversión en medidas para la protección del sistema de aguas subterráneas, y fueron una consideración importante en la decisión de construir una planta de tecnología avanzada para el tratamiento de aguas residuales y dos proyectos de inyección de agua diseñados para evitar la intrusión de agua del mar (a un costo de capital de US$ 57 millones y un costo operativo de más de US$ 6 millones por año).

El valor económico del agua subterránea se puede estimar básicamente observando el beneficio que se obtendrá al darle un uso particular, menos los costos de extracción y manejo (Caso 4.2). La valoración casi siempre implica comparar diferentes opciones. Hay muy pocas situaciones en las que el agua subterránea es la única fuente posible de abastecimiento de agua, y la disponibilidad de otras opciones es la que determina el 'valor de los recursos'. Cuando varias demandas compiten entre sí por recursos escasos, el valor relativo del agua subterránea también incrementa. Cuando el agua subterránea se localiza cerca o debajo de un área agrícola o industrial, o cerca de un área urbana, normalmente tendrá un valor más alto que si se encuentra en una ubicación remota.

Caso 4.2 Valoración de la fuente de agua subterránea para el acuífero de Stampriet, Namibia[70]

El caso del acuífero Stampriet de Namibia (en la década de los 90) es un ejemplo que muestra la importancia de considerar los costos y beneficios asociados con el agua subterránea al momento de formular políticas para administrar, asignar y ponerle precio al agua. Namibia es uno de los países menos poblados del mundo y uno de los más áridos, donde el agua es reconocida como un recurso crítico en la política de desarrollo, afectando especialmente a los sectores importantes de minería, agricultura y turismo basados en la vida silvestre. Alrededor del 50% del agua utilizada a nivel nacional proviene de fuentes subterráneas. Sin embargo, fue difícil fijar los precios adecuados para este suministro porque la mayoría de los usuarios no tienen contadores de agua. Había muy pocos datos disponibles sobre el costo financiero de los suministros locales de agua, en función de los costos de la infraestructura física requerida para su extracción y distribución, incluyendo los costos de cualquier instalación de almacenamiento y tratamiento. No existía información sobre el valor económico total de los recursos hídricos, ni sobre el beneficio marginal privado, el costo de oportunidad y las externalidades.
El acuífero Stampriet es el más grande del país (en un área subterránea de 65,000 km2) y se estaba agotando, porque los productores, incluyendo el sector de agricultura comercial, tenían acceso prácticamente libre al uso de las aguas subterráneas. Aunque los agricultores asumían el costo fijo y variable para extraer el agua subterránea (ubicación de pozos de agua, perforación, terminación y bombeo), no se había estimado ni cobrado ningún valor económico (mantenimiento del recurso en sí y costo de oportunidad). Además, la administración de los permisos para el uso de los pozos de agua y el licenciamiento de los volúmenes era deficiente. Se aplica-

ron técnicas de valor residual para calcular el valor económico del agua subterránea, utilizando un cuestionario para agricultores y un modelo empresarial para calcular el valor de la producción ganadera y la agricultura de regadío. El estudio sugirió un valor financiero para el agua subterránea de US$ 0.005/m3 y un valor económico de US$ 0.010/m3 y se encontró que la eficiencia del uso económico de este escaso recurso en la agricultura era deficiente. Además, varios subsidios agrícolas de hecho aumentaron el incentivo para que los agricultores extrajeran el agua subterránea en exceso. Fue necesaria una nueva política nacional del agua para que se tomara en cuenta el costo de la explotación excesiva de las aguas subterráneas para la economía en general, y las consideraciones económicas y sociales más amplias para fijar los precios del agua.

Uno de los métodos de valoración económica que se utiliza es el de las preferencias del usuario. Con este método, se define la "disposición a pagar" de los consumidores para disponer en cantidad y calidad del agua que requieren. La aplicación de este método, en el caso de aguas subterráneas, es problemático debido a que los precios de mercado del agua comúnmente utilizados no existen y no toman en cuenta las características de los acuíferos –como capital– ni la generación de flujos de agua. En dichas situaciones, es necesario usar otros métodos de valoración (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Posibles métodos para la valoración económica del agua subterránea

Método	Descripción	Aplicaciones principales
Mayor valor de uso	Valor económico derivado del uso de agua subterránea según disponibilidad y calidad comparado con el agua superficial	Tomar decisiones sobre: • si se abastece agua de fuentes de agua superficial o agua subterránea para usos determinados • cómo asignar nuevas demandas de extracción de agua subterránea entre usos y usuarios competitivos y • comparar el valor económico y financiero del agua
Valoración Costo-Beneficio	Valor neto presente de ingresos por diferentes usos del agua, menos costos de inversión, mantenimiento y extracción asociados	
Técnica del Valor Residual	Valor de los bienes producidos por el uso del agua subterránea menos el costo incurrido de producción (valorado a precio de mercado) con el residual siendo el valor del agua subterránea utilizada	
Valoración Contingente	Se les preguntó a las personas que indicaran directamente su voluntad para pagar por el agua subterránea o compensación aceptable por su pérdida	Justificar las inversiones en la protección del agua subterránea o desarrollo de proyectos, e identificar posibles cargos a los usuarios o estructuras de precios para financiarlos
Método de los Precios Hedónicos	Diferencia en precio que atribuible a la existencia de agua subterránea (usualmente estimado a partir de las diferencias en los valores de propiedad entre ubicaciones similares)	
Gasto de Mitigación	Estima el valor del agua subterránea a partir de las inversiones realizadas para evitar o mitigar los efectos de la escasez de agua o pérdida de calidad de agua	
Análisis de Costo o Pérdida por Daño	Valor del agua subterránea en términos de costos generados productos del agotamiento o la degradación del acuífero que afecta la actividad económica	
Costo de Sustitución o Reemplazo	Agua subterránea valorizada como el equivalente a la fuente de menor costo del suministro alternativo de agua que provee servicios equivalentes	

Por ejemplo, en Australia, han utilizado estudios de valoración económica para proporcionar información que apoya el diálogo entre los actores locales. Se aplicó un 'marco de análisis costo-beneficio' a cinco unidades de manejo de acuíferos en diferentes estados de Australia.[71] Los retos de la gestión de las aguas subterráneas comprendían desde el uso agrícola y la salinización de agua subterránea en la Cuenca Murray-Darling de Queensland y Victoria, hasta el uso de la tierra para urbanización y las compensaciones del manejo forestal alrededor del área metropolitana de Perth en el Occidente de Australia, incluyendo las preocupaciones de las comunidades rurales en el Territorio del Norte. Los estudios de valoración generaron una 'relación costo-beneficio' de varias opciones para las intervenciones de manejo en cada caso. Luego, los actores locales utilizaron los resultados para entender mejor las implicaciones económicas de las opciones alternativas para la gestión del agua subterránea. No obstante, también hubo limitaciones claras en la información utilizada en estos estudios (principalmente relacionadas con la limitada disponibilidad de información y la incertidumbre, así como también diferencias entre el uso de consumo y no consumo).[72]

Por lo tanto, se les aconsejó a los actores involucrados que consideraran estas limitaciones en su diálogo y antes de utilizar los resultados para cualquier decisión final.

"EL AGUA SUBTERRÁNEA TIENE VALOR COMO INSUMO PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS Y LOS SERVICIOS QUE ESTOS PROVEEN"

4.3.3 Factorización de valores ecosistémicos

Muchos ecosistemas de tierras bajas dependen de la descarga natural de los sistemas de aguas subterráneas ('agua subterránea para la naturaleza'). Por consiguiente, el agua subterránea tiene valor como insumo para su buen funcionamiento y los servicios que estos proveen, incluyendo los bienes que estos ecosistemas proveen, tales como peces, combustibles, madera y otros servicios de sustento. La magnitud de los valores de estos productos depende del tipo, tamaño, características, estado y manejo del ecosistema en cuestión, pero la importancia subyacente y fundamental del aporte del agua subterránea no debe ser ignorada. Es de igual importancia reconocer que existe otro conjunto de ecosistemas naturales, que son cruciales para mantener la recarga de agua de alta calidad para los acuíferos ('naturaleza para las aguas subterráneas'). Los ecosistemas en las zonas de recarga y descarga de acuíferos proporcionan beneficios económicos que se pueden valorar.

Foto 4.1 Agricultura de regadío, Jordania.

Por ende, los ecosistemas tienen valor a la vez como usuarios de las aguas subterráneas y componentes económicos para la conservación del recurso de aguas subterráneas (en términos de cantidad y calidad). Estos valores deben ser incluidos a la hora de administrar, dimensionar, asignar y manejar el agua subterránea. Existen varios mecanismos utilizados para tratar de reflejar el valor de los servicios ecosistémicos relacionados con el agua y el costo del manejo del ecosistema. Estos mecanismos permiten definir aproximaciones a los precios del agua y para tomar decisiones de inversión.[73] Esto es, en parte, una cuestión de eficiencia, ya que las aguas subterráneas generan un valor económico tangible para los ecosistemas que debe sopesarse con otros valores derivados de su producción o consumo. La valoración también permite analizar la efectividad del costo y la opción de inversión, puesto que a menudo es más barato invertir en el manejo de ecosistemas naturales para mantener los servicios del sistema de aguas subterráneas, en términos de recarga, versus el costo de las acciones necesarias –asociadas a la mitigación, reposición, sustitución– al momento que estos servicios disminuyen. El factorizar los costos y beneficios dentro de la valoración del agua subterránea, también puede llegar a tener implicaciones importantes para la rentabilidad de las acciones de algunos grupos de interés. Al igual que con la valoración del agua subterránea, la valoración de los ecosistemas siempre ha sido un desafío para los economistas. No obstante, las técnicas han avanzado y ahora es posible valorar muchos de los servicios ecosistémicos asociados con las aguas subterráneas. Varias de las técnicas de la Tabla 4.1 (ver el kit de herramientas VALUE de IUCN-WANI)[74] también se pueden utilizar para valorar los servicios ecosistémicos asociados con las aguas subterráneas.

"LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS GENERAN UN VALOR TANGIBLE PARA LOS ECOSISTEMAS."

4.3.4 Estimación de riesgos, incertidumbres y plazo

Las diferencias entre los beneficios esperados a corto y largo plazo con el uso del agua subterránea, deben ser tomado en cuenta para evaluar económicamente el agua subterránea. Los beneficios a corto plazo de la extracción intensiva de agua subterránea deben ser comparados contra el flujo a largo plazo de los beneficios. Por consiguiente, los resultados pueden limitar las tasas de extracción del recurso a corto plazo.[75] La mayoría de los recursos de aguas subterráneas son renovables. Sin embargo, para los recursos no renovables de aguas subterráneas (ver Sección 2.1.3), la explotación resulta en un grado de agotamiento irreversible. La valoración del agua subterránea debe tomar en cuenta los costos adicionales asociados con el uso de un recurso extinguible, incluyendo aquel asociado a su valor como una reserva estratégica y el costo adicional, o beneficio que dejarán de recibir las futuras generaciones al no encontrar fuentes alternativas de agua.[76]

Independiente de si los recursos de aguas subterráneas son renovables o no, su valoración debe siempre ser estimada en el tiempo, porque los valores del agua subterránea usualmente se calculan como un flujo de costo y beneficios en el futuro que muchas veces se acumulan a lo largo de varias décadas. La manera habitual de manejar el tiempo en un análisis económico es aplicar una tasa de descuento para brindar futuros costos y beneficios actualizados (valor actual). Se trata del proceso inverso a lo que significa aplicar una tasa de interés compuesto, y les da a los valores una ponderación relativamente menor a medida que se acumulan en el futuro. Siempre es importante considerar cuidadosamente la sensibilidad de la valoración del agua subterránea a la tasa de descuento. Una tasa de descuento relativamente alta siempre va a favorecer los usos a corto plazo contra los beneficios y costos a largo plazo.

Finalmente, la incertidumbre científica y el riesgo ambiental son consideraciones importantes a la hora de valorizar el agua subterránea. El riesgo y la incertidumbre son diferentes. Un riesgo es una situación en la cual se le puede asignar razonablemente una probabilidad a la posibilidad que ocurra un evento con efectos conocidos. En cambio, la incertidumbre es cuando no se conoce lo suficiente sobre los impactos potenciales o la probabilidad de algunas consecuencias, o cuando los efectos no se pueden anticipar. Por ejemplo, los efectos de la contaminación del agua subterránea, por ende la necesidad de protección, normalmente son más inciertos que aquellos de la sobre extracción de agua subterránea, porque la evaluación técnica y los requisitos de datos de la contaminación son más complejos.[77] Aunque el riesgo se puede manejar (por lo menos en principio) al ser tratado como

un costo e incorporar probabilidades numéricas al cálculo del valor, la incertidumbre es mucho más difícil de manejar y a menudo requiere que se use el 'principio de precaución' (ver Sección 3.2.2).[78]

4.3.5 Limites de la valoración

Aunque las técnicas de evaluación descritas anteriormente tienen errores, éstas proporcionan una vía hacia una mejor valoración de los recursos de aguas subterráneas y para incorporar los múltiples costos y beneficios que debe reflejar la información en apoyo a las decisiones. No obstante, estos métodos tienen varias debilidades que deben ser tomadas en cuenta al momento de usar los resultados de estas evaluaciones:

- la valoración del agua subterránea depende de la capacidad de pago de los usuarios y de su capacidad para acceder a mercados de gran valor. En efecto, un agricultor comercial o un usuario industrial casi siempre tendrán un rendimiento más alto tras el uso del agua subterránea que un agricultor de subsistencia o un usuario doméstico, lo cual conlleva a que las valoraciones son inherentemente sesgadas en contra de los pobres.
- la mayoría de técnicas de valoración no logran reflejar con exactitud los valores sociales y culturales asociados con un abastecimiento de agua seguro y limpio. Por lo que básicamente el valor que las personas le asignan al agua subterránea depende de varios factores además de los aspectos económicos y del mercado.
- las técnicas de valoración que se basan en valores relacionados con la producción (relacionados al uso industrial y comercial, incluyendo la agricultura) requieren de ajustes para otros insumos críticos además del agua subterránea (tales como mano de obra, energía y materia prima), los cuales pueden ser difíciles de determinar con precisión.
- las valoraciones tienden a no considerar de una manera adecuada los valores de los servicios ecosistémicos.

La variabilidad en las valoraciones del agua subterránea también puede ser alta, debido a la variación espacial y la variación a lo largo del tiempo. Un estudio nacional sobre el valor del uso del agua subterránea para la economía australiana,[79] por ejemplo, estimó la extracción de agua subterránea en 3.5 mil millones de m3/año entre US$ 1.4 a 5.4 mil millones. Cuando se consideran 'los efectos del flujo continuo' hacia otras industrias y comercios, esta cifra subió a US$ 2.3 ¬– 8.3 billones (mucho más grande que el sector forestal o pesquero), implicando un 'valor de uso' promedio entre los US$ 0.4 y US$ 2.3/m3. Una cifra aproximada para el valor total de la producción que depende del agua subterránea (aunque también necesita de otros insumos) fue del orden de US$ 25 mil millones anuales. La variación de estas cifras también depende de aquello que se incluyó o excluyó del análisis. Los valores del suministro directo para las viviendas rurales oscilaban entre los US$ 1.1 y US$ 4.8/m3, excluyendo los valores para la ganadería, el uso del agua subterránea como una fuente de reserva para la sequía y los servicios ecosistémicos. La valoración del uso del agua subterránea en la minería estaba entre los US$ 0.4 y US$ 3.8/m3, con los valores más altos para la producción de metales valiosos y piedras preciosas. Los valores para los cultivos agrícolas de regadío fueron menores a US$ 0.4/m3.

"LAS VALORACIONES DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEPENDEN DE LA CAPACIDAD DE PAGO DE LOS CONSUMIDORES Y DE SU CAPACIDAD PARA ACCEDER A LOS MERCADOS DE ALTO VALOR."

Las limitaciones y la variabilidad de los resultados de la evaluación de las aguas subterránea tienen implicaciones críticas en cuanto a cómo se usan los valores del agua subterránea a la hora de tomar decisiones. Por ejemplo, en España los costos para el riego representaban solo un 2-15% del costo directo de la producción hortalizas en invernadero, cítricos, uvas y aceite de oliva, pero el valor de la productividad del uso de agua subterránea era de €2/m3. Sin embargo, este valor incrementa aún más dado el aumento tan marcado en el valor de la tierra de uso agrícola que se beneficia del derecho de uso de pozos, en comparación con la tierra adyacente que se usa para agricultura de secano.[80] Un fenómeno similar

ocurre en la provincia de Mendoza, Argentina, con respecto a la tierra adyacente no cultivada.[81] El peligro es que, en ausencia de una administración pública consistente o un régimen participativo fuerte para la regulación y el manejo de las aguas subterráneas, esto puede resultar en una explotación insostenible, incluyendo impactos significativos en los ecosistemas acuáticos, que luego deben ser rehabilitados. Por lo tanto, es vital que los valores del agua subterránea sean interpretados y aplicados en conjunto con una regulación y administración efectiva (Capítulo 3) y un manejo participativo (Capítulo 5).

4.4 Instrumentos económicos para la protección y gestión de las aguas subterráneas

4.4.1 Alcance y relevancia de los instrumentos económicos

Un instrumento económico se utiliza para estimular a que los usuarios, contaminadores y proveedores de servicios ecosistémicos adopten voluntariamente un comportamiento que beneficiará a la sociedad, o que, por lo menos, se ajuste a políticas relacionadas aprobadas por el gobierno. El razonamiento subyacente de los incentivos económicos es el que el ser humano (comúnmente) reacciona a estímulos financieros y sanciones. Los instrumentos económicos pueden incentivar un uso eficiente del agua subterránea, contribuyendo así a un manejo sostenible del agua subterránea y reduciendo el riesgo de impactos negativos y conflictos sociales.[82]

A pesar de las dificultades prácticas que impiden la valoración precisa de los recursos de aguas subterráneas, existe un margen amplio y una urgente necesidad de aplicar en forma sistemática instrumentos económicos en la administración del agua subterránea. Los gestores de los recursos hídricos buscan que quienes usan y contaminan los recursos de aguas subterráneas asuman también los costos económicos de sus acciones, tratando así de disuadirlos de aplicar prácticas dañinas y despilfarradoras.[83]

"LOS INSTRUMENTOS ECONÓMICOS PUEDEN BRINDAR UN INCENTIVO PARA USAR EL AGUA SUBTERRÁNEA DE MANERA MÁS EFICIENTE."

La aplicación de instrumentos económicos complementa otros enfoques y, de hecho, éstos brindan incentivos tras aplicar las leyes y regulaciones. Entonces, para promover con eficiencia la gestión sostenible de las aguas subterráneas, es necesario aplicar instrumentos económicos como parte de paquetes que incluyan controles regulatorios (ver Capítulo 3) y participación social (Capítulo 5) adecuados con hidrogeología local y el contexto institucional y socioeconómico. Se debe tener mucho cuidado a la hora de preparar esos paquetes, así como también en la secuencia de cómo se introducen las diferentes medidas. Por ejemplo, tarde o temprano, el África subsahariana requerirá de la introducción de instrumentos económicos para atender asuntos emergentes específicos. Sin embargo, esto será posible únicamente donde existan arreglos gubernamentales apropiados, capacidades de administración y tecnologías que permitan a los usuarios del agua subterránea responder eficazmente.[84]

Existen varios instrumentos económicos que se emplean normalmente para controlar la extracción y frenar la contaminación, tales como la imposición de cargos y costos, y subsidios para la conservación de los recursos o tecnologías para controlar la contaminación. Para ello, se requiere de un sistema transparente de medición, además de sanciones financieras y sociales por incumplimiento (y esto es aún más necesario cuando se trata de usar los mercados de agua subterránea para facilitar la transferencia de derechos para usos más productivos). La administración pública debe desincentivar las actividades de desarrollo que solo ofrecen beneficios socioeconómicos limitados en comparación con los grandes riesgos para el medio ambiente. La administración y los servicios de agua también deben considerar la posibilidad de pagarles a los propietarios de tierras por manejar y cuidar las áreas de recarga de los acuíferos que ayudan a preservar las tasas de recarga y la calidad del agua subterránea.

Es prudente realizar un análisis de viabilidad sobre la implementación de instrumentos económicos para el manejo de las aguas subterráneas, que permitan evaluar los costos y beneficios de cada instrumento. Los análisis de viabilidad también deben considerar la capacidad organizacional (para la administración, el monitoreo y la aplicación de la ley) y los costos recurrentes a largo plazo. Los costos y beneficios deben considerar asimismo posibles compensaciones entre el uso de instrumentos económicos y otros métodos de gestión de las aguas subterráneas. Aunque que es relativamente sencillo calcular los costos de poner en práctica un instrumento, calcular los beneficios es mucho más difícil. Las opciones alternas de evaluación incluyen un análisis de rentabilidad (comparando el costo de diferentes opciones que llevan al mismo objetivo) y un análisis multicriterio (analizando diferentes objetivos de acuerdo a su clasificación).

4.4.2 Imposición de cargos y gastos para restringir la extracción del agua subterránea

Tarifas de uso y extracción directa del recurso

La imposición de cargos o tarifas por extraer agua subterránea es el método más directo para asegurar que exista un incentivo para hacer uso eficiente del agua subterránea, debido a que los usuarios deben pagar una 'tarifa por extracción del recurso (o materia prima)' dependiendo del volumen utilizado. Es común que el consumo para uso doméstico esté exento de este cargo. Este abordaje puede ser un componente muy efectivo de la gestión (Caso 4.3).

Caso 4.3 Cobro por uso de agua subterránea para controlar su extracción en la región metropolitana de Bangkok, Tailandia[85]

El área metropolitana de Bangkok se desarrolló sobre suelos de tipo sedimentario que contenían una serie de acuíferos semiconfinados en la Cuenca Baja de Chao Phyra, los cuales fueron explotados progresivamente para el suministro hídrico urbano (público y privado). A partir de los años 50, la extracción excedió los 400,000 m3/d (incluyendo la extracción para uso municipal). En 1985, esta extracción excesiva de agua subterránea resultó en el hundimiento de tierras, en áreas importantes de la región metropolitana, a una tasa de más de 10 cm/año, provocando serios daños en edificios y en infraestructura, aumentando el riesgo de inundaciones con el aumento de las mareas.

El primer intento para solventar este problema fue durante el período de 1985-95, con el cierre de pozos municipales, substituyéndolos por un suministro de agua superficial mucho más caro (importado y tratado). Sin embargo, el aumento consecuente en el precio del suministro público de agua, la falta de un control adecuado para la extracción de agua subterránea, y un crecimiento rápido de la demanda doméstica e industrial provocó un incremento masivo en la construcción de pozos privados. El uso del agua subterránea pasó de 200,000 a 2,000,000 m3/d al final de este período, provocando hundimientos acumulados que excedieron los 100 cm en muchas áreas.

Desde 1995, el Departamento de los Recursos de Aguas Subterráneas adquirió mayor poder para controlar el uso del agua subterránea, e hizo esfuerzos coordinados para regular la extracción de agua subterránea a niveles aceptables. Impuso prohibiciones al uso de pozos privados en 'áreas críticas', eliminó paulatinamente los pozos privados industriales y de condominios en áreas con un adecuado suministro municipal de agua. El cambio más significativo, fue la introducción de medidores universales para el cobro por el uso privado de agua subterránea privada. El sistema de cobro incluyó una ponderación sustancial que variaba espacialmente de acuerdo al nivel de consumo de uso de agua y los riesgos para el sistema de aguas subterráneas. Inicialmente el cargo más alto era de US$ 0.09/m3, pero este aumentó gradualmente a US$ 0.42 /m3 para el 2005. El resultado ha sido la estabilización, e incluso la recuperación parcial, de los niveles de agua subterránea en la mayoría de los acuíferos más explotados, con tasas de hundimiento del suelo a menos de 1 cm/año en la mayoría de las áreas. Se han generado ingresos sustanciales para la reinversión planificada en el fortalecimiento de la administración de los suministros de aguas subterráneas en general y en mejorar las redes de campo para el monitoreo del medio ambiente y las aguas subterráneas.

Desafortunadamente, el uso del agua subterránea para la agricultura –el mayor consumidor de recursos de agua subterránea— muy rara vez se mide y, por lo tanto, controlar el uso para riego no es tan sencillo como para la industria o el comercio. Las técnicas alternativas para calcular la extracción de agua subterránea para el riego son:

- Usar el medidor de consumo de electricidad como indicador sustituto del volumen del agua subterránea bombeada (Caso 4.4), lo cual se presta para la facturación combinada de electricidad y agua subterránea (y sanciones por falta de pago), aunque no es posible considerar la ineficiencia del bombeo;
- Usar la clasificación o capacidad de las bombas de pozos de agua (m3/hora) y el horario estimado o monitoreo de operación (hora / mes) para estimar el uso; y
- Estimar el consumo de agua subterránea a partir del promedio de agua requerida para cada cultivo (m/mes) y las áreas correspondientes de cultivos bajo riego (m2) calculado por medio de teledetección o estudios de campo.

Caso 4.4 Facturación combinada de electricidad rural y agua subterránea en Mendoza, Argentina[86]

Mendoza, situada frente a la cordillera andina de Argentina, es una región muy árida con algunos ríos y acuíferos de tipo aluvial. El Departamento General de Riego (una agencia autónoma de recursos hídricos a nivel provincial) está tratando de integrar el agua subterránea a una infraestructura hidráulica provincial con una larga historia de manejo de agua superficial para la agricultura de regadío. Su planteamiento inicial fue fomentar la perforación de pozos de agua alrededor de los márgenes de influencia del canal de riego y permitir el uso del agua subterránea cuando el abastecimiento de agua superficial era insuficiente. La estrategia en general ha sido un gran éxito, evidenciada por el hecho que, al 2006, los precios de la tierra para los viñedos con derechos de uso del agua subterránea y la infraestructura de riego habían alcanzado los US$30,000–50,000 por hectárea, en comparación con los US$ 4,000 por hectárea para tierras inhabitadas adyacentes. Pero en algunas áreas, la estrategia encontró problemas de un aumento en la salinidad del agua subterránea asociada con el uso intensivo del agua subterránea y/o la expansión excesiva de tierras bajo riego.

Se ha buscado un mayor control y una gestión proactiva de la extracción de agua subterránea (y su uso para riego) a través de una serie de medidas que incluyen:

- Prohibición del establecimiento de pozos nuevos y el cierre de vacíos legales, en cuanto a la transferencia espacial y reactivación de los derechos de uso del agua subterránea en "áreas de restricción especial", y
- Uso de imágenes satelitales y sistemas de información geográfica para mapear la ubicación de los pozos de agua, las áreas de tierra con riego (y cualquier riego con agua superficial complementario) y la ubicación de los medidores de electricidad correspondientes.

Esta última estrategia, facilitó la introducción progresiva, en el año 2000, de la tarifa conjunta de electricidad y extracción de agua subterránea en áreas prioritarias, estimando así el uso del agua subterránea a partir del consumo de electricidad. Se aplicaron sanciones por falta de pago al suministro de energía. La cooperación necesaria para facilitar algún tipo de cobro efectivo (aunque aproximado) por volumen de extracción de agua subterránea fue posible incluso cuando la empresa eléctrica rural fue privatizada y la agencia de los recursos de agua subterránea era un organismo público.

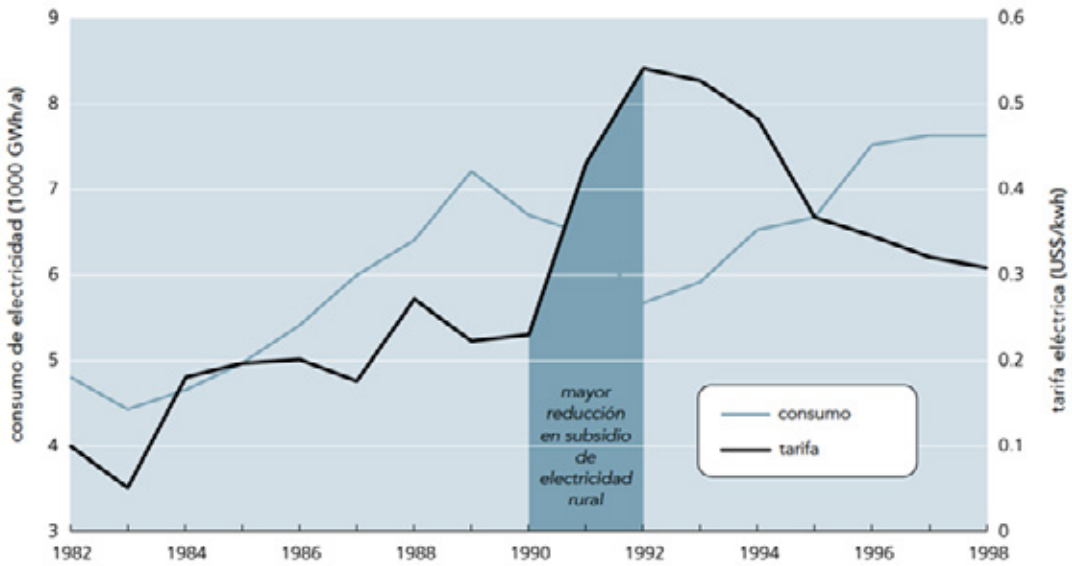
"EL PRECIO DE LA ELECTRICIDAD RURAL PUEDE SER UNA HERRAMIENTA ÚTIL PARA INCIDIR EN EL BOMBEO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS."

Fijación indirecta de precios a través de tarifas de energía eléctrica

Una vez que se construye un pozo de agua, el mayor costo en la extracción de agua subterránea es la energía requerida para bombear el agua. Este costo depende no solo del nivel freático, las características del acuífero y la eficiencia del pozo, sino también del costo unitario de energía para el bom-

beo. Por lo tanto, el precio de la electricidad rural puede ser una herramienta útil para incidir en el bombeo de aguas subterráneas (Figura 4.2) en ausencia de capacidades de administración de recursos hídricos adecuada o de voluntad política para emprender el cobro volumétrico directo. Sin embargo, en situaciones donde el costo de la energía y el agua subterránea es una pequeña proporción de los costos totales de producción agrícola, el alcance para la aplicación de este método puede ser más restringido de lo que parece.[87]

Figura 4.2 Influencia histórica de las variaciones de las tarifas de electricidad rural en el consumo de energía para el bombeo de aguas subterráneas en México. Existe una influencia positiva tras una reducción significativa de los subsidios en 1990-1992, pero esto no es constante debido a otros factores económicos en la producción agrícola y el cabildeo político.[88]



Paradójicamente, en muchas áreas alrededor del mundo, los precios de la energía se utilizan de manera opuesta, con grandes subsidios para el suministro de electricidad rural con el fin de reducir los costos agrícolas.[89] En muchos casos, de alguna manera estos ayudan a reducir la diferencia de precio entre el uso de aguas subterráneas para el riego y el agua de canal (el ha sido históricamente subsidiado). Aunque las subvenciones a la energía rural a menudo se pueden justificar políticamente, hay que reconocer que la adopción de tarifas fijas de electricidad rural (relacionadas solo con la potencia de la bomba) es perversa[90], debido a que los agricultores paran siendo aislados de uno de los principales elementos del costo asociado con la caída del nivel freático. También puede conducir a prácticas de bombeo extremadamente ineficientes en acuíferos poco profundos donde los agricultores continúan operando pozos de agua a niveles de agua subterránea que son demasiado bajos, resultando en grandes pérdidas debido a la fricción de entrada y bombeo. Dichas prácticas serían completamente antieconómicas si se tuviera que cubrir el costo económico total de la energía eléctrica consumida.

"LA ADOPCIÓN DE TARIFAS FIJAS DE ELECTRICIDAD RURAL ES PERVERSA."

Aunque es razonable subsidiar a los agricultores pobres para mejorar sus medios de vida, el garantizar apoyo económico para el uso del agua subterránea puede que no sea el mejor vehículo ya que la extracción excesiva puede erosionar la disponibilidad de recursos a largo plazo. Una alternativa, por ejemplo, es el pago de una suma alzada al comienzo de la temporada de riego para cubrir parte de su factura energética estimada, puesto que ofrece un incentivo para estirar estos fondos y utilizar el

agua de manera más eficiente. Otras estrategias exitosas para controlar el uso de pozos para riego, que son práctica común de un gran número de pequeños agricultores en la India, incluyen[91]:

- racionar el suministro eléctrico utilizando una red destinada únicamente al riego por bombeo, mientras se mantienen las tarifas sustancialmente subsidiadas para cumplir con las expectativas políticas, y
- la centralización del suministro de energía eléctrica a través de distribuidores locales, quienes también se benefician de una tarifa subsidiada, pero son responsables de promover, administrar y cobrar por el suministro que ponen a disposición de los consumidores en las aldeas.

En muchos aspectos, la introducción de energía generada por paneles solares para alimentar las bombas de los pozos de agua es una práctica favorable, puesto que reduce (y en gran medida a largo plazo) la dependencia en la electricidad generada a partir de combustibles fósiles. No obstante, es muy importante que las agencias de recursos hídricos trabajen con las compañías eléctricas para introducir 'tarifas de recompra' que sean lo suficientemente atractivas como para evitar que la energía solar se utilice para la sobreexplotación continua de los recursos de aguas subterráneas.

Implementación y aplicación de la ley

Para diseñar e introducir instrumentos económicos, es necesario desarrollar varios pasos y disponer de información sobre los recursos de aguas subterráneas:

- elaboración, y mapeo, de un registro de usuarios, usos y derechos de uso de las aguas subterráneas.
- evaluación de la viabilidad de instalar medidores para los pozos de agua u otras técnicas alternativas para estimar el uso del agua subterránea.
- consultar con los grupos de usuarios de aguas subterráneas sobre opciones de su implementación y aplicación.

Quizás los factores cruciales para hacer que los instrumentos económicos funcionen a favor de la sostenibilidad de los recursos de aguas subterráneas son el cumplimiento y la aplicación de la ley.[92] El uso del agua subterránea es una actividad altamente descentralizada con un gran número de usuarios privados, quienes perforan sus propios pozos de agua, instalan sus propios equipos de bombeo y siguen sus propios horarios de bombeo. En el caso de un acuífero grande, existe una gran cantidad de usuarios y la aplicación de las medidas en cuanto al uso del pozo de agua únicamente será posible si existen incentivos claros.

La participación activa de los usuarios de pozos de aguas es esencial para la gestión del recurso de aguas subterráneas (ver Capítulo 5), que puede ser facilitada al:

- proporcionar información sobre el estado de los recursos de aguas subterráneas
- promover la participación de los actores en asociaciones para el manejo de acuíferos (a través de las cuales los usuarios ejercen presión social para alcanzar los objetivos de la gestión)
- combinar el cobro de la electricidad rural junto con el agua subterránea
- usar cada vez más tecnologías innovadoras

Una de estas tecnologías es la teledetección. Ahora las imágenes satelitales son asequibles y muchas organizaciones han desarrollado herramientas de interpretación para mapear en alta resolución los afloramientos de los acuíferos, el consumo del agua subterránea y para estimar la evapotranspiración total real.

También será necesario imponer sanciones por incumplimiento de las regulaciones y tarifas del agua subterránea. Esto requiere voluntad política, capacidad organizativa y una estrategia que penalice públicamente algunos casos graves de incumplimiento.

4.4.3 Mercados de aguas subterráneas para regular los derechos de uso y asignaciones o cuotas

A menudo se promueve la creación de 'mercados de aguas' para facilitar el manejo del recurso, debido a que puede ayudar a asignar el agua a usos de mayor valor de una manera aceptable para todas las partes y promover así el crecimiento económico a la vez aminorar la tensión social. Mientras este puede ser el caso, es muy importante darse cuenta que los mercados no sirven para restringir la cantidad total de extracción de agua subterránea o el consumo del recurso. De hecho, sin restricciones, los mercados podrían tener el efecto contrario.[93] Sin embargo, si se implementan dentro de un marco bien establecido para la gestión de los recursos de aguas subterráneas con un límite (o techo) exigible de consumo total (como un mercado para un volumen fijo de derechos de extracción de agua subterránea), entonces estos mercados pueden ser útiles como una herramienta para la gestión del recurso. Aún así, muchas veces será necesario restringir la transacción dentro de zonas determinadas de un acuífero para usos específicos.

En el caso de los recursos de aguas subterráneas, el concepto del 'mercado de agua' se refiere a la comercialización o transacción de derechos de uso o asignaciones (cuotas), y no a la venta del suministro de agua a granel ni a la transferencia de dichos derechos en la venta de la propiedad o transferencia de títulos de la propiedad. Un abordaje gradual es esencial para la introducción exitosa de 'mercados de agua subterránea' de este tipo:

- primero, establecer un sistema adecuado para medir el uso de las aguas subterráneas, construir y definir los derechos de uso y los mecanismos de participación de los usuarios del agua, mientras se les da a las partes involucradas tiempo para ajustarse a las nuevas reglas, y
- segundo, una vez que este sistema está funcionando, hacer que los derechos de uso del agua subterránea sean comerciables.

En esencia, la transacción de los derechos de aguas subterráneas solo funcionará de manera efectiva si se basa en una administración pública sólida que utilice un marco regulatorio para el manejo de los recursos. No es un sustituto para la regulación del recurso, sino más bien un complemento que requiere de un esfuerzo adicional en términos de administración pública a cambio de beneficios económicos adicionales para la sociedad.

"EL CONCEPTO DEL MERCADO DE AGUA SE REFIERE A LA COMERCIALIZACIÓN O TRANSACCIÓN DE DERECHOS DE USO O ASIGNACIONES DE AGUA."

Normalmente, el objetivo es reducir el consumo de las aguas subterráneas en pro de la sostenibilidad a largo plazo del recurso, su uso y de los ecosistemas acuáticos, donde la transacción de los derechos de aguas subterráneas constituye mecanismo para garantizar el acceso al recurso. Para lograr este objetivo junto con la protección de los usuarios legalmente inscritos y los ecosistemas acuáticos dependientes, el mercado requiere de una regulación significativa para:

- limitar la transferencia de los derechos de aguas subterráneas a unidades hidrogeológicas específicas (definidas en espacio y profundidad en base a la disponibilidad del recurso, tendencias de calidad y funciones ambientales) y a usos específicos que no aumenten el consumo ni la carga de contaminación, mediante normas uniformes debidamente publicadas.
- proteger a los usuarios legales existentes (incluyendo el medio ambiente acuático) mediante de condiciones complementarias para las transferencias individuales, establecidas mediante una evaluación caso por caso, y
- aplicar las reducciones periódicas del volumen total de los derechos de uso del agua subterránea con el tiempo.

Hay un número creciente de países o estados federales (en particular, pero no exclusivamente, en la UE, los EE. UU. y Australia) que han intentado, o están intentando, introducir alguna forma de comercio de derechos o asignaciones de uso de aguas subterráneas. Estos pueden aplicarse a sistemas de acuíferos prioritarios específicos o unidades de manejo de aguas subterráneas y que, por lo general son parte de una estrategia integrada más amplia para la gestión de los recursos de aguas subterráneas. La experiencia emergente de los mercados de agua subterránea, aunque limitada, ha demostrado que los pasos para ayudar a la administración pública a garantizar el éxito en el comercio de derechos y asignaciones de uso de agua subterránea incluyen:[94]

- provisión pública de información agregada sobre volúmenes y tendencias comerciales para facilitar el comercio.
- fomentar el comercio temporal (estacional o período limitado) de las asignaciones de uso del agua subterránea, ya que, cuando es viable, estas transacciones son más fáciles de procesar y pueden ser utilizadas para evaluar y estimular la transferencia permanente de los derechos de uso del agua subterránea.
- mantener una 'reserva de recursos', después de descontar una proporción acordada sobre los recursos de aguas subterráneas, tal como caudal ambiental, para atender las necesidades sociales más apremiantes externas al mercado.
- asegurar que la evaluación de los recursos disponibles de aguas subterráneas reconozca la interconectividad con los sistemas de aguas superficiales (y que no haya ocurrido una doble contabilización de los recursos) y, al mismo tiempo, que la relación e interacción entre el comercio de derechos de uso de aguas subterráneas y superficiales sean consistentes.
- Definir una provisión para las condiciones de sequía para reducir los derechos proporcionalmente, ya que durante estos eventos los impactos ambientales y de terceros de las extracciones individuales son más severos (o expresar los derechos como una fracción fija de una asignación total variable según condiciones históricas).
- contar con procedimientos adecuados de trazabilidad y monitoreo para mantener una evaluación continua de las modificaciones a la extracción y el uso del agua subterránea, como resultado del comercio de derechos y asignaciones, y su impacto en el caudal del acuífero y sus descargas ambientales.

4.4.4 Instrumentos económicos para el control del riesgo de contaminación de fuente puntual

El concepto económico generalmente utilizado para restringir la contaminación de fuente puntual del agua es el 'principio de quien contamina paga'. Bajo este principio, a una industria se le cobra por la cantidad de contaminación del agua que produce (generalmente cuando excede un límite predeterminado o transgrede una norma de calidad del agua). Cuanto menos contamina, menos paga. Este principio incorpora el costo de las externalidades de la contaminación en el costo de la producción industrial, en lugar de hacer que la sociedad lo pague.[95] Como alternativa, se puede construir un mercado que permita el comercio de 'permisos para contaminar'. Las industrias pueden vender su asignación permitida a otros y, por lo tanto, tienen un incentivo para evitar o reducir la contaminación.

Sin embargo, en el caso de las aguas subterráneas, la carga probatoria de contaminación es a menudo onerosa, ya que es difícil determinar quién tiene la culpa dada la complejidad hidráulica y el largo período de tiempo que transcurrió antes que la contaminación apareciera en el sistema de acuíferos. Por lo tanto, el comercio de 'permisos de contaminación' no aplica con facilidad para la contaminación de las aguas subterráneas. De hecho, es bastante ineficaz en cuanto a la protección preventiva de los acuíferos, debido a la extrema persistencia de algunos contaminantes en el subsuelo y la frecuente inviabilidad de la remediación (limpieza), junto con el elevado costo de algunos episodios de contaminación.

"EL COMERCIO DE PERMISOS DE CONTAMINACIÓN NO APLICA CON FACILIDAD PARA LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS."

Por ende, en el caso de las aguas subterráneas, el 'principio de quien contamina paga' debe ser interpretado como el 'contaminador potencial paga los costos de la protección requerida para el acuífero'. Estos costos varían espacialmente dependiendo del perfil del suelo y la geología subyacente y son superiores en las áreas más importantes de recarga de agua subterránea.[96] Asimismo, en las zonas de protección del agua potable, a menudo se utiliza una combinación de disposiciones regulatorias e instrumentos económicos para prohibir actividades peligrosas.

Finalmente, es preferible introducir incentivos económicos para los contaminadores potenciales para mejorar el manejo, tratamiento, reutilización y eliminación de las aguas residuales en instalaciones industriales existentes, y para minimizar y eliminar de manera segura los desechos sólidos. Tales incentivos son especialmente importantes en áreas donde las evaluaciones de vulnerabilidad de los acuíferos sugieren un alto riesgo de contaminación al agua subterránea. La imposición de fuertes sanciones por incumplimiento, además de incentivos para el cumplimiento, también es esencial.

4.4.5 Pagos por servicios ecosistémicos

En la última década, los pagos por servicios ecosistémicos se han convertido en un instrumento cada vez más común para garantizar servicios hidrológicos importantes –por ejemplo, la contribución de los ecosistemas de bosques, humedales o pastizales para la escorrentía, recarga y calidad del agua. Tal como se explica el kit de herramientas PAY de IUCN_WANI[97], estos involucran a los beneficiarios de los servicios ecosistémicos relacionados con el agua (tales como, hidroeléctricas, agricultores de regadío, consumidores urbanos o usuarios industriales de agua a gran escala), haciendo pagos en efectivo o en especie, a los grupos responsables de manejar los ecosistemas que generan estos servicios, por ejemplo, autoridades de áreas protegidas o comunidades rurales de las cuencas.

El razonamiento en relación con las aguas subterráneas es que, si bien los usuarios de pozos de agua pueden obtener considerables beneficios, quienes manejan las tierras o recursos y cuyas acciones conducen a la prestación de dichos servicios (básicamente mediante prácticas sostenibles del manejo del suelo y el agua,) no son recompensados por las externalidades positivas que generan. Por consiguiente, tienen menos incentivos para implementar prácticas sostenibles, a pesar de que generan beneficios valiosos fuera del sitio o 'aguas abajo' para los sistemas y los actores asociados a las aguas subterráneas. Los pagos tienen como objetivo recompensar la prestación de estos valiosos servicios y compensar el costo de su generación (en relación con otras opciones de uso del suelo que dañan al medio ambiente).[98]

Aunque hay cada vez más ejemplos de pago por los beneficios de los servicios ecosistémicos para el suministro de agua superficial, la experiencia en relación con el agua subterránea es más limitada. Algunos ejemplos son:[99]

- varios países de la UE (por ejemplo, Alemania, Reino Unido y Dinamarca), los servicios de agua han llegado a acuerdos con los propietarios de tierras, quienes cultivan en las 'zonas de captación' de sus principales fuentes de agua subterránea, para compensarlos por la introducción de prácticas agrícolas 'amigable con el agua subterránea' (pastizales de baja densidad, reducción en la aplicación de fertilizantes inorgánicos nitrogenados, prohibición del uso de ciertos pesticidas, etc.) a cambio de un pago negociado anual o un único pago[100]
- el desarrollo de un mercado de servicios ecosistémicos de las aguas subterráneas generado tras la conservación de la cuenca del Alto Tuul en Mongolia (Caso 4.5).

Caso 4.5 Inversión en el ecosistema del Alto Tuul, Mongolia, para la conservación de los recursos de aguas subterráneas[101]

Ulán Bator, la capital de Mongolia, tiene una inminente crisis hídrica. En las últimas décadas, la cuenca del Río Tuul se ha ido degradando progresivamente, lo cual ha provocado que los caudales máximos y mínimos del río se vuelvan cada vez más extremos y la disminución del nivel freático del acuífero principal en el área, cuya única fuente de recarga es el río. Por lo tanto, la escasez de agua estacional es cada vez más frecuente. Los análisis ecológicos, hidrológicos y económicos integrados brindan una justificación sólida para la conservación de las

tierras ribereñas en la cuenca del Alto Tuul como un pilar central para la inversión en el sector del agua; ya que la protección ecológica de los bosques y pastizales en esta área tiene un vínculo directo con la temporalidad e intensidad del caudal del Río Tuul y la tasa de recarga del agua subterránea. Aunque la conservación de cuencas hidrográficas por sí sola no garantiza la seguridad hídrica ni anula la necesidad de desarrollar fuentes adicionales para el abastecimiento del agua, sí permite que la infraestructura construida suministre agua adecuada para la capital durante un período considerable.

Invertir en la conservación de cuencas hidrográficas tiene el potencial de generar importantes beneficios aguas abajo y ahorros sustanciales de los costos. Si la cuenca del Alto Tuul continúa siendo degradada, el costo para la economía nacional por la pérdida de bienes y servicios ecosistémicos se ha estimado que está alrededor de unos US$ 27 millones/año (a precios del 2009). En contraste, cada US$ 1 invertido en la conservación de la cuenca alta debería generar beneficios adicionales de agua urbana de US$ 15, de modo que la protección total de la cuenca alta totalmente protegida podría generar bienes y servicios escalonados por un valor de US$ 37 millones/año en el largo plazo.

4.5 Alineación de los incentivos de la política agrícola

Dado que la agricultura de regadío es el consumidor predominante del recurso de aguas subterráneas en muchos países, la política agrícola es un motor muy importante del uso del agua subterránea. Mejorar la alineación de políticas relacionadas con los objetivos de gestión sostenible del agua subterránea facilitaría enormemente los esfuerzos de gestión local.[102] Por ejemplo, eliminar los precios mínimos o subsidios para cultivos que requieren de un alto consumo de agua (por ejemplo, arroz, caña de azúcar o alfalfa) en países semiáridos ayudará en gran medida a la gestión de los recursos de aguas subterráneas. Además, incluso la política de comercio externo puede tener un impacto indirecto en el uso del agua subterránea al crear barreras para la importación de estos cultivos.

La introducción de tecnología moderna de riego y un mejor manejo del agua de riego debería facilitar grandes ahorros de energía en el bombeo de agua subterránea, y también, bajo ciertas condiciones, podría conducir a importantes ahorros de agua subterránea (en situaciones donde las prácticas de riego preexistentes resultaron en grandes pérdidas de evaporación). El financiamiento para mejorar la tecnología de riego, y su posible implementación preferencial a través de subsidios y subvenciones, es potencialmente una medida importante para el manejo de las aguas subterráneas, siempre y cuando exista evidencia científica clara de pérdidas adversas. Sin embargo, se debe señalar que las reducciones en el retorno del agua de riego al agua subterránea (comúnmente un componente importante de las llamadas 'pérdidas' en el riego) ahorra energía de bombeo, pero no recursos hídricos.[103]

"LA POLÍTICA AGRÍCOLA ES UN MOTOR MUY IMPORTANTE DEL USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA."

Otro tema importante es el control de la contaminación no puntual de las prácticas agrícolas a través de incentivos macroeconómicos.[104] Vale la pena considerar eliminar el subsidio generalizado de ciertos tipos de fertilizantes y pesticidas, los cuales pueden afectar seriamente la calidad del agua subterránea si se usan en exceso o de manera inapropiada. Las subvenciones tienden a promover los monocultivos en grandes extensiones de tierra, casi independientemente de la idoneidad del suelo y clima, los cuales requieren de fuertes aplicaciones de fertilizantes y/o pesticidas (que a su vez son subsidiados). Esto puede tener un gran impacto negativo en la calidad del agua subterránea debido a la lixiviación agroquímica, cuyo costo no se tuvo en cuenta al inicio.[105] En los estados del norte de la UE, se han iniciado acciones voluntarias para la gestión del uso del suelo siguiendo directrices sobre 'buenas prácticas agrícolas' (BPA) para reducir la lixiviación de nutrientes vegetales y pesticidas. Aunque en áreas de recarga de aguas subterráneas altamente vulnerables, esto puede que no sea completamente efectivo.[106] Por consiguiente, también se están tomando medidas para reorientar los subsidios agrícolas y así proporcionar incentivos para que los agricultores reduzcan la lixiviación agroquímica como un 'servicio ecosistémico de las aguas subterráneas'. También existe el argumento para ir más allá e imponer un 'impuesto ambiental' a los fertilizantes y/o pesticidas para generar fondos para el monitoreo de la calidad del agua subterránea.

4.6 Lista de verificación: creación de incentivos económicos

Comprensión del valor económico de las aguas subterráneas

- Hacer un inventario sobre los usos del agua subterránea y los resultados socioeconómicos de uso.
- Evaluar los principales factores socioeconómicos que inciden en el uso excesivo de aguas subterráneas y el riesgo de contaminación.
- Emprender estudios sobre el valor económico del agua subterránea. Esto requiere un análisis experto por parte de economistas ambientales que trabajen con hidrogeólogos y expertos afines. Por medio de varios métodos se estima el valor de los beneficios netos obtenidos tras usos específicos y conservación del agua subterránea.
- Factorizar las valoraciones del ecosistema en la evaluación del valor del agua subterránea. Tomar en cuenta los valores tanto de los servicios ecosistémicos que dependen de la descarga de agua subterránea ('agua subterránea para la naturaleza') como de los ecosistemas que sustentan la recarga del agua subterránea ('naturaleza para el agua subterránea'). La valoración de los ecosistemas proporciona la información necesaria para evitar que los costos y beneficios de la conservación queden fuera de la toma de decisiones al momento de sopesar las opciones para el manejo del uso y la recarga de las aguas subterráneas.
- Comunicar información sobre el valor económico del agua subterránea a los responsables políticos, los planificadores y los actores involucrados para apoyar el diálogo y ayudarlos a decidir y acordar usos prioritarios e incentivos para una gestión más sostenible y equitativo del agua subterránea.

Mejorar la alineación de las políticas macroeconómicas y agrícolas con la gestión de las aguas subterráneas

- Revisar las políticas económicas y agrícolas para identificar dónde se pueden hacer mejoras para facilitar la gestión del agua subterránea. En particular, considerar si existen subsidios, garantías de precios o políticas comerciales que fomentan la producción de cultivos de alto consumo de agua, o si los subsidios e incentivos para el uso de fertilizantes o pesticidas tienen un impacto negativo en la calidad del agua subterránea.
- Identificar incentivos económicos para la gestión y protección de las aguas subterráneas
- Considerar cuáles instrumentos económicos crean incentivos o sanciones efectivas para atender la sobreexplotación y contaminación de las aguas subterráneas. La imposición de tarifas para extraer agua subterránea según el volumen utilizado es el medio más directo para crear incentivos para reducir el consumo. Una alternativa indirecta es incorporar tarifas de extracción en el precio de la electricidad en zonas rurales. Sin embargo, durante el diseño tales incentivos, hay que asegurarse de atender medidas que permitan proteger los grupos pobres o vulnerables por medio de exenciones o subsidios.
- Considerar el uso de 'mercados de agua subterránea' como un mecanismo para fomentar la eficiencia y la asignación de agua para usos de mayor valor, solo cuando exista un sistema para establecer y definir los derechos de uso del agua subterránea. Hacer que los derechos de uso sean negociables, requiere de un sistema de regulación pública eficaz y apropiado que incluya la protección de los grupos pobres y vulnerables, el establecimiento de reservas ambientales y disposiciones para reducir las asignaciones de agua durante los períodos de sequía.
- Asegurarse que existan mecanismos para sancionar a los contaminadores utilizando el principio del de quien contamina paga', y ampliar el principio a 'el contaminante potencial paga por la protección adecuada de las aguas subterráneas' de acuerdo con el entorno hidrogeológico local. Asegurar que los incentivos sean orientados hacia las inversiones para el el tratamiento, reciclaje y eliminación de aguas residuales, así como también subsidios para tecnologías de control de la contaminación.

- Evaluar opciones para aplicar pagos por servicios ecosistémicos para el manejo y la protección de aguas subterráneas, en particular para la protección de la recarga y la calidad de las aguas subterráneas en zonas de recarga altamente sensibles. Los mecanismos aplicables pueden compensar a los propietarios de tierras en estas áreas por un manejo 'amigable con el agua subterránea', ya sea a través de pagos en efectivo o en especie por parte de los usuarios.

Establecer el entorno propicio para la aplicación exitosa de incentivos económicos

- Realizar análisis de factibilidad de la implementación de los instrumentos económicos propuestos para comparar sus costos y beneficios a largo plazo y evaluar si existen las capacidades organizativas necesarias.
- Asegurar que existen capacidades de monitoreo y gestión de datos para satisfacer las necesidades operativas de los instrumentos económicos, incluyendo, por ejemplo, tecnologías de medición o teledetección.
- Asegurar que existen medios efectivos para organizar la participación de los usuarios de las aguas subterráneas en el diseño, implementación y aplicación de los instrumentos económicos.
- Establecer disposiciones para promover y permitir el cumplimiento de las regulaciones y las aplicaciones de los instrumentos económicos, a la vez de garantizar que existan multas y sanciones efectivamente aplicadas a quienes infrinjan las normas.

Capítulo 5

Organización social para el manejo del agua subterránea

5.1 Participación en la gobernanza del agua

Debido a que el agua es necesaria para la vida, es un asunto que nos incumbe a todos. Todos debemos converger en la 'mesa del agua' para discutir el uso y manejo del agua subterránea. Por tanto, la organización social efectiva es un prerrequisito para la buena gobernanza de los recursos del agua subterránea. ¿Por qué? ¿Por qué no dejar la gestión de este recurso invisible y complejo en las manos de los expertos técnicos y legales? Porque es un recurso vital codiciado por todos, desde familias pobres hasta poderosas empresas agrícolas e industriales. Su manejo equitativo y sostenible a lo largo de las generaciones requiere de la participación de todos los actores meta. En este sentido, el manejo del agua subterránea requiere de procesos para gestionar el cambio.

El uso de conceptos de organización social para una gobernanza efectiva del agua, facilita la toma de decisiones informadas y la resolución de conflictos. La organización social implica establecer espacios y mecanismos que permitan la participación activa de todos los actores en el diálogo, la planificación, la toma de decisiones y la implementación de actividades en torno a un determinado tema de manera que, en la medida de lo posible, se atiendan los intereses y preocupaciones de cada parte interesada.

Las plataformas participativas permiten que se escuchen las voces de grupos relativamente indefensos, como las mujeres y las personas vulnerables. La participación les ofrece a las personas la oportunidad para conocer sus derechos y roles, cumplir con sus responsabilidades, obtener propiedad y reclamar sus derechos. A través de este proceso, todos los interesados adquieren mayor responsabilidad para un buen manejo del agua subterránea. Lograr un proceso social participativo puede requerir cambios en las actitudes y el comportamiento de los individuos, las instituciones, los profesionales y los tomadores de decisiones - y estos cambios no sucederán de la noche a la mañana. Sin embargo, una vez que los procesos de organización social se conviertan en la norma, generalmente perduran porque son aceptados y efectivos.

"LAS PLATAFORMAS PARTICIPATIVAS PERMITEN QUE SE ESCUCHEN LAS VOCES DE GRUPOS RELATIVAMENTE INDEFENSOS."

La gobernanza local o comunitaria, como se utiliza en contextos tribales u otros ámbitos indígenas, es la forma más antigua de gobernanza del agua. A medida que se formaron los estados nacionales, el manejo del agua pasó a ser responsabilidad de los gobiernos nacionales y el agua subterránea se reconoció como un recurso común.[107] En sus esfuerzos por manejarla, los gobiernos han tomado diferentes caminos, incluyendo la privatización (otorgando derechos de agua a los propietarios de las tierras o a quienes los compran); un estricto control gubernamental sobre las asignaciones; o incluso para permitir una extracción de agua gratuita para todos, lo que puede resultar en una 'tragedia de los comunes' (o tragedia de los bienes comunales).[108] En términos legales, la propiedad pública de los recursos hídricos se ha vuelto cada vez más favorecida, sin embargo, bajo el concepto que está controlada por el Estado para el bien común.[109]

No obstante, en muchos casos, las prácticas de gestión del gobierno son burocráticas, de arriba hacia abajo y sesgadas por intereses personales de alto nivel, a menudo sin prestarles mucha atención a las preocupaciones comunitarias. Las malas prácticas de gestión, la falta de coordinación institucional, las deficiencias políticas y las relaciones de poder a nivel local se suman a la inequidad

en situaciones donde el agua subterránea no está disponible, especialmente para las personas más pobres en entornos urbanos y las familias de pequeños agricultores en las zonas rurales.

Debido a que el agua es tan importante para la vida, las personas protestarán por el mal uso de este recurso, posiblemente dando lugar a conflictos, acritud, batallas legales e incluso violencia. El conflicto también surge cuando el agua es un ingrediente para la creación de riqueza. Por ejemplo, en el acuífero subyacente al famoso Oasis de Azraq de Jordania (Caso 5.4), parte del cual es un sitio de humedales Ramsar, las fuerzas armadas del gobierno que intentan identificar y cerrar pozos ilegales para cultivos comerciales insostenibles, fueron enfrentados por trabajadores armados en las grandes fincas. El conflicto armado se evitó solo cuando el gobierno retiró sus fuerzas.

En cambio, los enfoques de gobernanza local guían a los actores asociados a desarrollar responsabilidades y normas compartidas para manejar el recurso común para el bien común. En este abordaje, las personas no solo eligen representantes para hacer el trabajo de gobernar, sino que siguen siendo participantes activos en la gobernanza, especialmente en torno a cuestiones locales cruciales, como la gestión de su suministro de agua. La gobernanza local involucra conceptos de organización social, negociación, equidad y administración. No solo permite que muchas voces representen intereses diferentes, sino que los empuja a tomar decisiones que satisfacen las necesidades del presente y los exhorta a acomodar las necesidades del futuro, tanto para sus propias vidas como para las de sus descendientes.

5.2 Principios de los procesos sociales para el cambio

¿Cómo podemos fomentar un proceso social inclusivo que resulte en un mejor y más equitativo desarrollo de los recursos de agua subterránea? La respuesta se basa en ocho principios que conforman los principales pilares conceptuales para crear un proceso efectivo de organización social.

Principio 1: Incluir grupos vulnerables – El proceso social debe ser inclusivo, admitir a todos los interesados, incluyendo a los poderosos, pero también, y en especial, a los más afectados, como las mujeres y los pequeños agricultores. Deben incluirse a los grupos más vulnerables, incluso si no vienen inmediatamente a la mente como 'actores meta'. Se debe poner un énfasis especial en las necesidades y los derechos de los pobres y las mujeres, y se deben hacer esfuerzos especiales para incorporarlos al proceso de gestión. Hay que reconocer que ellos pueden necesitar de asistencia financiera y de fortalecimiento de capacidades para poder participar en el proceso.

"EL PROCESO DEBE CONTAR CON EL APOYO INCONDICIONAL DEL GOBIERNO LOCAL Y NACIONAL."

Principio 2: Incluir al medio ambiente como una parte interesada – Dado que los planes de gestión deben dejar suficiente agua para mantener de manera sostenible a los procesos ecosistémicos, el medio ambiente debe ser considerado como una parte interesada en cualquier diálogo. Puede estar representado por un grupo de defensores del medio ambiente. Independiente si dicho grupo está presente o no, garantizar agua adecuada para sostener los ecosistemas debe ser uno de los objetivos en cualquier proceso. No se trata de que todos los actores simplemente dividan todos los recursos hídricos entre ellos, sino que busca definir formas y mecanismos para mantener un sistema de agua subterránea equitativo y sostenible que incluya el suministro de agua necesario para los ecosistemas.

Principio 3: Obtener el apoyo de quienes están en el poder – Para que sea efectivo, el proceso debe contar con el apoyo incondicional de las autoridades gubernamentales locales y nacionales. No se trata simplemente de disipar las tensiones sin apuntar a un cambio fundamental. Quienes están en el poder deben estar dispuestos a aceptar las decisiones definidas por medio del proceso de organización social. El caso 5.1 es un ejemplo de un proceso social que involucró escenarios computarizados, y cuyos esfuerzos tuvieron éxito para desarrollar un plan, pero fracasó cuando el plan fue desestimado por los jefes de un departamento gubernamental que no estuvo involucrado.

Caso 5.1 El departamento gubernamental desestima el plan de acción de los actores involucrados en Kiribati[110]

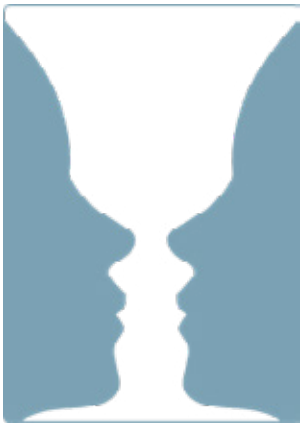
En Tarawa Sur, la capital de la República de Kiribati en el Pacífico, el gobierno y los terratenientes estaban en conflicto sobre quién poseía los derechos de las aguas subterráneas.

Una agencia gubernamental y una agencia no gubernamental internacional iniciaron un proceso exhaustivo para facilitar el diálogo entre los representantes gubernamentales, institucionales y comunitarios. Por medio de un taller, se desarrollo un juego de roles con escenarios computarizados en función a las diferentes decisiones. El taller fue un éxito y se diseñó un plan de acción aceptable. Sin embargo, el Departamento de Saneamiento, Salud Pública y Medio Ambiente (SAPHE) desestimó el plan debido a las presiones de los niveles superiores para proceder con la adquisición de más agua subterránea. En retrospectiva, hubiera sido de gran beneficio haber contado con la participación de representantes de los niveles más altos de SAPHE y/o del gobierno nacional en el programa para garantizar su compromiso y responsabilidad con el proceso y los resultados.

Principio 4: Institucionalización del proceso – El desarrollo de capacidades y el empoderamiento de la comunidad rara vez serán efectivos y sostenibles si no cuentan con el respaldo de las políticas gubernamentales ni los marcos legales.[111] El gobierno local que se involucra junto con la comunidad en la planificación, debe tener una autoridad política, administrativa, financiera y fiscal adecuada, apoyada y respaldada por el gobierno nacional para llevar a cabo las decisiones adoptadas. El gobierno local necesita tener la autoridad y también los recursos para planificar y coordinar los planes estratégicos locales y proveer servicios locales básicos. Por ejemplo, en la cuenca del Marj Sanour en Palestina (Caso 5.5), se institucionalizó un comité participativo de la cuenca y ahora éste representa las siete aldeas de la cuenca en foros más amplios. Las aldeas ahora tienen una vía legítima para presentarles sus propuestas a las agencias gubernamentales y a la comunidad de donantes, utilizando estudios de las cuencas y el plan de desarrollo de cuencas.

"LAS PLATAFORMAS PARTICIPATIVAS PERMITEN QUE SE ESCUCHEN LAS VOCES DE GRUPOS RELATIVAMENTE INDEFENSOS."

Figura 5.1 Todo depende de las diferentes perspectivas



Principio 5: Facilitar la escucha respetuosa y las soluciones compartidas mediante el diálogo abierto – Este proceso requiere del desarrollo de un diálogo entre los participantes, quienes escuchan, valoran y entienden otros puntos de vista y quizás hasta cambien de actitud –o al menos su comportamiento– en respuesta a los puntos de vista y las necesidades de los demás. Es importante estar conscientes que las personas con distintos intereses pueden tener perspectivas completamente diferentes del mismo problema y, por lo tanto, tienen dificultades incluso para comprender las perspectivas de los demás con respecto al mismo problema. La Figura 5.1 precisamente ilustra el concepto de diferentes percepciones, donde unos ven el jarrón mientras que otros ven las siluetas de dos caras.

En un diálogo, los participantes deben reconocer las percepciones y puntos de vista de los demás, analizar conjuntamente los problemas y llegar a soluciones compartidas. Aquellos grupos más diversos, en especial los grupos cuyos miembros ya se encuentran en conflicto o tiene intereses opuestos, es posible que no puedan lograr el objetivo del proceso sin ayuda. Por lo tanto, los procesos de negociaciones difíciles y la búsqueda de situaciones de beneficio mutuo, por lo general requieren de un facilitador profesionalmente capacitado, sin ningún interés directo en el problema en cuestión, que actúe como guía durante todo el proceso.[112]

Principio 6: Crear responsabilidad – Es poco probable que la mayoría de las personas participen en el diálogo sobre problemas y posibles soluciones para el manejo de las aguas subterráneas, a menos que el tema les afecte directamente en sus vidas. Las personas solo están dispuestas a participar cuando el tema aborda problemas urgentes de hoy y del futuro cercano, y cuando el tiempo dedicado a las discusiones conduce a resultados concretos. La participación de las personas en el diálogo a través de un proceso práctico y objetivo de visión, evaluación, estrategias y planificación ha demostrado ser eficaz. Luego, los participantes 'se apropian' de las decisiones tomadas en conjunto para la acción concertada.[113]

La participación en este proceso hace que las agencias gubernamentales sean más responsables ante las decisiones tomadas. Cuando los miembros de las comunidades participan se aseguran que sus intereses y beneficios, así como sus derechos y acceso a los recursos de agua subterránea sean tomados en cuenta. Este resultado, más la creciente sensación de que pueden influir en las decisiones a la vez que desarrollan sus propias capacidades, son razones clave por las que los miembros de la comunidad participen y asuman la responsabilidad de manejar sus recursos de aguas subterráneas.[114]

Principio 7: Desarrollar capacidades y perseverar – El proceso participativo toma tiempo, pero una vez establecidas las bases, este proceso obtiene mejores resultados que la antigua forma de trabajar porque reduce el conflicto y enfoca a las comunidades en el manejo a largo plazo de los recursos para el beneficio de la comunidad en su totalidad. Además, garantiza la aceptación por parte de las autoridades gubernamentales (locales y nacionales), ya que reconocen que trabajar de esta manera es más eficiente y mejora su credibilidad entre las comunidades locales.[115]

Dicho proceso de desarrollo de capacidades y empoderamiento comienza por explorar las habilidades sustanciales que las comunidades ya tienen, así como su capacidad para innovar. El reconocer y utilizar diferentes sistemas de conocimiento (por ejemplo, agricultores, extensionistas e investigadores) contribuirá a la innovación necesaria tanto en tecnología como en procesos participativos.[116] La creación intencional de capacidades, a través de la reflexión continua, y la documentación de los cambios son parte del proceso de organización social.

El desarrollo de capacidades para la organización social y la gobernanza local del agua en torno al manejo de las aguas subterráneas es un proceso continuo. Reemplazar la forma convencional de hacer las cosas puede tomar mucho tiempo, pero una vez establecido el proceso de organización social puede continuar para siempre como la nueva manera de hacer las cosas.

"EL PROCESO PARTICIPATIVO TOMA TIEMPO, PERO OBTIENE MEJORES RESULTADOS QUE LA ANTIGUA FORMA DE TRABAJAR."

Caso 5.2 Perseverando por el cambio social, Oregón, EE. UU.[117]

Por ejemplo, en el estado de Oregón, EE. UU., una junta de comisionados del condado designó un grupo de trabajo de 20 miembros para desarrollar un plan para manejar un acuífero en el futuro. El grupo de trabajo abrió el proceso para la comunidad a través del 'aprendizaje colaborativo', una forma de participación pública basada en el aprendizaje, que se basa en el pensamiento sistémico, el manejo de conflictos y la resolución alterna de disputas. Después de cuatro años, el programa aún estaba en su infancia, pero la creciente conciencia pública sobre la necesidad de una gestión sensata de las aguas subterráneas condujo a que la legislación aprobara la asignación de fondos para la evaluación regional de recuperación de acuíferos.

Principio 8: Saber que un buen proceso social es una buena inversión – El proceso de organización social requiere de inversión financiera e institucional, pero es menos costoso que muchas de las alternativas que conllevan a protestas, conflictos, violencia, daños a la propiedad, demoras, elecciones perdidas e incesantes desacuerdos. Si bien los enfoques de organización social pueden parecer costosos y que toman mucho tiempo al principio, su costo es relativamente pequeño en comparación con las alternativas y el costo general de las inversiones en infraestructura hídrica. Tiene el potencial de ser rentable en términos de efectividad, apropiación, responsabilidad y sostenibilidad de los resultados, como se muestra en el ejemplo del Caso 5.3.

Caso 5.3 El retorno de facilitar la organización social

El sector de agua de Jordania calculó los costos para escalar el enfoque de planificación participativa liderada por los actores involucrados. En el 2007, se propuso un proyecto de infraestructura de agua potable de cuatro años financiado por GTZ en cuatro provincias con un presupuesto aproximado de € 4 millones/año. El costo para facilitar el proceso de organización/planificación social era de € 240,000 por año, asumiendo un total de 30 comunidades por provincia. Por comunidad, el costo de dicho proceso de organización social era de aproximadamente € 8,000 por año por comunidad, o € 2 por año por persona para un promedio de 4,000 habitantes en cada comunidad. La inversión en dicho proceso de facilitación iba a ser aproximadamente de un 6 % del costo total de inversión en las redes de agua potable según la propuesta –una opción que valía la pena. Dicha inversión hubiese creado una mayor responsabilidad sobre la instalación y el mantenimiento de la red de agua potable y, por lo tanto, un menor costo de reparación y una mayor sostenibilidad.

5.3 Actividades en un proceso de gestión y cambio

En base a los principios de la Sección 5.2, se necesita una secuencia práctica de pasos para desarrollar un proceso participativo de organización social en torno a la gestión de los recursos de aguas subterráneas. El proceso puede estar administrado por una agencia gubernamental, una organización no gubernamental o una oficina de consultoría especializada en procesos de facilitación, siempre que los principales actores y las agencias gubernamentales relevantes le hayan concedido la autoridad y el acuerdo para hacerlo. El proceso establece plataformas de múltiples actores en las que se puede debatir problemas y tomar decisiones.[118]

Tres grupos de actividades (subprocesos A, B y C, en la Tabla 5.1) pueden, en la práctica, implementarse en paralelo, de una manera más o menos iterativa. El subproceso A, donde se identifican y participan los actores en diferentes niveles, es un prerrequisito para la planificación y toma de decisiones significativas en el subproceso B. El aprendizaje, el desarrollo de capacidades, la reflexión, la documentación y el intercambio del subproceso C ocurren a lo largo de todo el proceso.

Tabla 5.1 Resumen de los subprocesos y pasos en un proceso de gestión y cambio

A. Facilitar el análisis y la participación de los actores (Sección 5.3.1)	B. Planificar y tomar decisiones para la acción concertada (Sección 5.3.2)	C. Aprender, documentar, intercambiar y desarrollar capacidades (Sección 5.3.3)
• Mapear los intereses de las partes interesadas en diferentes niveles y escalas y asegurar un análisis a fondo de los actores • Crear plataformas pertinentes de las partes interesadas • Mediante un proceso efectivo de facilitación, se puede asegurar la participación de diferentes grupos de interés en la plataforma local y su representación en otras plataformas • De ser posible, institucionalizar acuerdos convenidos sobre la gestión del recurso de aguas subterráneas	• Involucrase en un proceso participativo de planificación y toma de decisiones con desarrollo de visiones y construcción de escenarios para el mediano plazo (5 a 10 años) • Desarrollar una base de información intercambiada y acodada • Emprender un análisis social más detallado (acceso y derechos al agua, así como también rendición de cuentas a nivel local, diferenciado por género) • Llegar a decisiones y compromisos compartidos de manera participativa y genuina, de preferencia en forma de planes de gestión de las aguas subterráneas a nivel local y más amplios como de distritos y cuencas	• Documentar e intercambiar los procesos de desarrollo y decisiones • Participación en el desarrollo de capacidades y empoderamiento

5.3.1 Análisis y compromiso de los actores

Los primeros tres principios de la organización social implican reunir a los personajes correctos en la 'mesa del agua', asegurándose de que estén comprometidos con el proceso de toma de decisiones. Para alcanzar esto, primero hay que saber cómo identificar e involucrar a los actores asociados, cómo mapear su uso del agua, sus derechos y responsabilidades, y su conocimiento sobre el recurso.

Mapeo de los intereses de los actores

Se requiere de un esfuerzo consciente para 'mapear' los diferentes niveles y participaciones, y para analizar sus intereses, capacidades, mandatos, roles, tareas y responsabilidades. Un buen análisis de los actores asociados o meta puede incluir a viviendas urbanas, el sector informal de pequeñas y medianas empresas que consumen agua para sus procesos de producción (cervecerías, procesadoras de alimentos, lavanderías, canteras, lavado de autos, paisajismo urbano y muchos otros), grandes instituciones como hospitales, escuelas, hoteles y todos los grupos heterogéneos en pueblos y aldeas en áreas rurales. Los grupos genéricos de usuarios (por ejemplo, agricultores, viviendas urbanas) no pueden considerarse como partes homogéneas. Dependiendo de cada situación y escala, es necesario refinar aún los grupos de usuarios y la gestión, tomando en cuenta las posibles diferencias de intereses y prioridades entre hombres y mujeres.[119]

El Caso 5.4 muestra el problema cuando se excluyen ciertos actores importantes, tanto quienes están afuera del área de interés inmediato, pero que hacen uso del acuífero, así como también ilustra el problema de tratar con aquellos actores que no acatarán las decisiones.

"SE REQUIERE UN ESFUERZO CONSCIENTE PARA 'MAPEAR' LOS DIFERENTES NIVELES Y LAS PARTICIPACIONES."

Caso 5.4 Inclusión de los actores asociados en el manejo del Oasis de Azraq, Jordania

El famoso Oasis de Azraq (Qa'a Azraq) es una de las fuentes más grandes de agua subterránea de buena calidad en Jordania. El oasis es la parte más baja de la cuenca del Azraq, la cual se extiende desde las montañas de Siria (la principal área de recarga de agua), atraviesa Jordania hasta la frontera con Arabia Saudita. Debido a que su agua está tan cerca de la superficie, Qa'a Azraq ha estado habitado desde la Edad de Piedra. Catalogado como sitio Ramsar, es un pantano en una región semiárida que atrae aves migratorias de África y Europa.

Hoy en día, el acuífero está sobreexplotado, incluso a través de pozos ilegales, con agua potable yendo hasta la ciudad de Amán y a grandes granjas comerciales para regar vegetales y árboles frutales. La extracción total es casi tres veces más que la recarga. A principios de la década de los 90, los cuatro manantiales naturales en medio del Oasis de Azraq que llevaban miles de años descargando agua fresca y de buena calidad, se secaron por completo. La población local ahora vive con la sensación de que su subsistencia está en juego debido a la escasez de agua y la salinización del suelo a causa de la degradación del acuífero. Sin embargo, los grandes terratenientes, a través de su influencia en la capital, son un grupo poderoso.

En el 2007, hubo un primer intento de establecer una plataforma de actores meta para identificar soluciones. La atención se centró en el oasis, incluyendo las preocupaciones locales sobre el uso del agua y el suelo y la conservación del sitio Ramsar. Lamentablemente, el foro no se institucionalizó y progresó poco. Más tarde, el alcance del foro se amplió a toda la cuenca de agua subterránea. Se realizó un análisis profundo de los intereses, problemas, roles y relaciones políticas de los actores. En esta nueva plataforma, los residentes locales y los departamentos técnicos del gobierno estuvieron más involucrados y mejor representados. Un proceso de planificación más comprensivo incluyó el desarrollo de una visión detallada y la creación de escenarios y estrategias. La visión a largo plazo se actualizó para incluir preocupaciones más amplias, incluyendo las necesidades de agua potable de Amán y los intereses en conflicto entre los residentes locales y los grandes propietarios de tierras. Se ha invertido mucha energía en un diálogo sincero y en el desarrollo de una visión y un plan sólidos, con el apoyo de la mayoría de los funcionarios gubernamentales involucrados. El proceso le ha dado a la comunidad local una voz más amplia y un acceso a fondos para proyectos de su interés. Sin embargo, el gobierno no ha tomado la difícil decisión de reducir la extracción excesiva de agua por parte de las grandes fincas. No obstante, el hecho de que muchos actores estén unidas bajo una visión común, a la larga podría forzar la acción

del gobierno. El diálogo de Azraq ha sido instrumental para el establecimiento del Foro del Agua de Tierras Altas (HWF) para la Cuenca de Azraq por parte del Programa de Agua jordano-alemán y auspiciado por el Ministerio de Agua y Riego de Jordania. El HWF debiera fomentar el desarrollo de capacidades, el aprendizaje compartido, la creación de redes y el intercambio de experiencias entre los principales actores del sector de aguas subterráneas en Jordania.

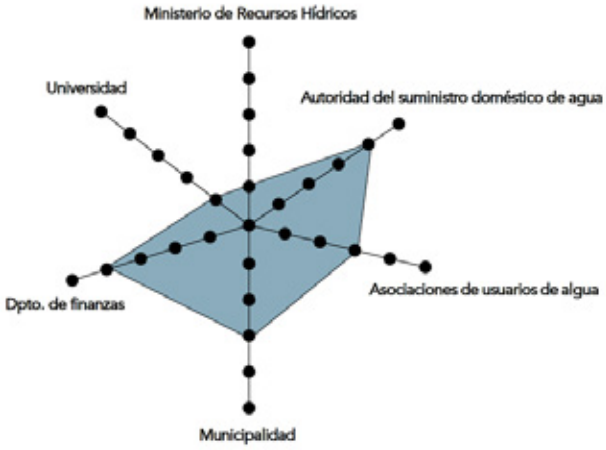
Evaluación de las diferentes participaciones a diferentes escalas

Un desafío clave para la gestión de las aguas subterráneas (y una mejor gobernanza del agua) es derribar las barreras sectoriales para la planificación y la toma de decisiones, y proporcionar plataformas y marcos comunes para el desarrollo y la gestión de todos los recursos hídricos. Para ayudar a enfrentar este desafío, para cada grupo de usuarios o de actores asociados del agua, incluyendo mujeres y hombres y aquellos que representan las necesidades del ecosistema, los organizadores deben evaluar:

- los derechos que cada uno posee en términos legales y formales, pero también en términos de prácticas y convenciones habituales;
- cómo cada uno organiza su acceso al agua y cómo se transporta desde la fuente hasta el punto de uso;
- cuán accesibles son los pozos privados con licencia o ilegales para otros usuarios;
- a quién se le asignan ciertas tareas para distribuir el agua (por ejemplo, en un sistema de riego o en una red de agua potable o incluso a través de cisternas desde un punto de llenado), y
- quién tiene la influencia y el poder para tomar decisiones formalmente, así como también social y políticamente.

Existen muchas herramientas disponibles para mapear, clasificar, visualizar o describir esta información. Por ejemplo, la Figura 5.2 muestra una herramienta, el diagrama de radar, donde el personal o los participantes pueden mapear cuánta influencia consideran que tiene cada actor clave en las decisiones sobre el agua subterránea.

Figura 5.2 Ejemplo de un diagrama de radar de la influencia de actores clave en el suministro doméstico de agua subterránea (Nota: 1 es baja influencia; 5 es alta influencia)[120]



Evitar tres supuestos equivocados

Parte del análisis de los actores meta es entender la dependencia y las relaciones jerárquicas, las afinidades políticas, los conflictos ocultos, así como también la oportunidad de soluciones. Tres supuesto comunes, pero erróneas, pueden impedir los esfuerzos de mapeo de los actores asociados a nivel local: (1) suponer que una aldea local es una entidad homogénea; (2) suponer que toda la informa-

ción necesaria se puede obtener del jefe de la aldea o del consejo de la aldea; y (3) suponer que las opiniones de los hombres también reflejan las de las mujeres y todos los grupos sociales o de usuarios de la aldea.

Buscar y examinar formas existentes de organización
La mayoría de los lugares tienen 'plataformas de actores meta' existentes o grupos de actores que ya trabajan juntos en temas de agua, y pueda que éstos sean representativos o no de todos los actores. Estos grupos deben ser considerados, pero analizados por su inclusividad y efectividad.

"EL ARTE DE LA ORGANIZACIÓN SOCIAL SE BASA, FUNDAMENTALMENTE, EN EL FORTALECIMIENTO DE LA COMUNICACIÓN."

No tiene sentido duplicar las formas de organización que ya existen. Sin embargo, queda la duda sobre su funcionalidad y eficacia. La investigación sobre los organismos existentes también debe analizar de cerca cómo funcionan estos organismos en la realidad. ¿Hasta qué punto existen únicamente en papel? ¿Cuál es el grado de reconocimiento y confianza por partes de los diferentes actores? ¿Incluyen a todos los actores que se consideran importantes? ¿Qué autoridad tienen para planificar, resolver problemas, resolver conflictos, tomar decisiones y de implementación? A niveles más bajos de la escala, ¿existe una diferenciación entre los diferentes grupos de interés en las comunidades locales?

Involucrar a las plataformas de actores meta en un proceso de organización social
El arte de la organización social para la gestión de las aguas subterráneas, es reunir la mayoría de los actores asociados de una forma significativa que tenga sentido para todos y donde todos se sientan comprometidos para contribuir a una visión y objetivos compartidos con los recursos específicos que ellos y ellas tienen disponibles. El Diálogo de los Actores y la Acción Concertada (SDCA, por sus siglas en inglés)[121] es un abordaje eficaz. Se basa, fundamentalmente, en fortalecer la comunicación entre los actores, para permitirles entenderse mejor y tomar medidas más efectivas y coordinadas.

Una 'plataforma de actores meta' es un grupo de actores con un interés común que puede tomar decisiones y emprender acciones en conjunto. Es fundamental para el éxito que las partes interesadas compartan preocupaciones importantes –por ejemplo, las preocupaciones sobre la escasez y la calidad del agua subterránea– reconociendo que no pueden resolverlas por sí solos. También es fundamental que las decisiones tomadas, a través de la plataforma de partes interesadas, sean vinculantes para todos. No se deben tomar decisiones importantes afuera de la plataforma.

Debido a que el manejo de los recursos hídricos compartidos es una preocupación tan común en todo el mundo, las comunidades locales han diseñado plataformas tradicionales o autóctonas (por ejemplo, sistemas aflaj en Omán y Yemen), sin mandatos oficiales del gobierno. La experiencia de muchas partes del mundo muestra que este tipo de plataformas de partes interesadas son las más efectivas a nivel local y, a menudo, pueden integrarse a una red más grande.

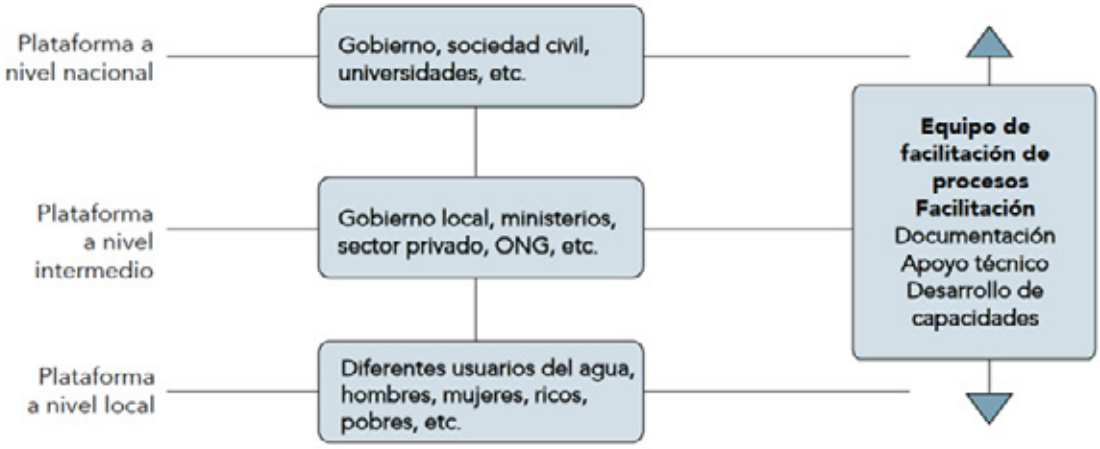
La creencia central de las plataformas es que si las partes interesadas del agua (subterránea) se comunican de manera efectiva entre sí con regularidad bajo la estructura de una plataforma conjunta, entonces encontrarán formas localmente apropiadas y concertadas para resolver problemas inminentes relacionados con el agua. Es importante garantizar que los intereses y las prioridades de las mujeres se consideren equitativamente y que las plataformas locales de partes interesadas sean sensibles al género. Mediante pequeños éxitos, dicha plataforma se puede institucionalizar en marcos más formales (un comité de cuenca, un comité de cuenca de aguas subterráneas, una red comunitaria de suministro de agua, un grupo de trabajo interministerial para la gestión de una cuenca de agua subterránea).

En principio, el proceso SDCA tiene como objetivo identificar (y, en caso necesario, iniciar) y fortalecer las plataformas de partes interesadas a nivel local (aldea/pueblo, cuencas pequeñas), intermedio (distrito/provincia, cuenca hidrográfica o de agua subterránea), nacional o incluso transnacional –para asegurar flujos de comunicación uniforme al interior de y entre estos niveles (Figura 5.3).

"REUNIR DIFERENTES ACTORES REQUIERE DE LAS HABILIDADES DE UN FACILITADOR EXPERTO."

Siguiendo el concepto de subsidiariedad, que las decisiones deben tomarse en el nivel más bajo posible,[122] las plataformas de partes interesadas se organizan mejor al nivel donde los intereses compartidos se pueden enfocar y hacer relevantes para la escala requerida de las operaciones. Sin embargo, el crear los vínculos verticales necesarios entre estas plataformas más o menos horizontales es esencial para asegurar que los niveles más altos estén informados sobre las prioridades y los problemas locales y entender la imagen general a nivel local, lo cual permite que todos puedan comunicar de mejor forma sus prioridades a aquellos que se encuentran en los otros niveles (Figura 5.3).

Figura 5.3 Niveles característicos de los actores en la gobernanza del agua, con el Equipo de Facilitación de Procesos fortaleciendo el diálogo y la acción concertada dentro y entre plataformas de partes interesadas a diferentes niveles [123]



Garantizando una facilitación efectiva del proceso

Reunir a diferentes actores, reconocer sus percepciones, negociar intereses contrapuestos, y encontrar soluciones mutuamente beneficiosas requiere de las habilidades de un facilitador experto sin ningún interés directo en el problema que se busca resolver. Un facilitador puede ayudar a los participantes a que se escuchen los unos a los otros y a encontrar fundamentos en común o por lo menos llegar a un compromiso razonable. Un proceso bien facilitado puede contribuir a mejorar la planificación e implementación de actividades.[124] La inversión en la facilitación de procesos, a largo plazo, resulta en el desarrollo de un proceso sin problemas y con mejores resultados. Sin la facilitación de procesos, cualquier proceso planificado y liderado por sus participantes con respecto a la gestión de aguas (subterráneas) es probable que fracase.[125]

La facilitación del proceso va más allá de reuniones individuales y debe garantizar el funcionamiento del proceso completo. El trabajo del facilitador de procesos implica la identificación de los participantes, la creación del trabajo en equipo, la resolución y mediación de conflictos, y el proceso de orientación y negociación para la planificación y toma decisiones entre las agencias gubernamentales (funcionarios), comunidades locales (usuarios finales, hombres y mujeres), y otras partes pertinentes.

Los facilitadores de procesos ayudan a los diferentes participantes a articular sus intereses, percepciones, preocupaciones, suposiciones y juicios. Ellos identifican oportunidades para mejorar el intercambio de información, la organización social, y la toma de decisiones entre los participantes. Ellos pueden crear conciencia sobre limitaciones y oportunidades que pueden afectar el rendimiento de actores relevantes.

"EN PROCESOS PROPENSOS AL CONFLICTO, UN FACILITADOR NEUTRAL ES UNA CONDICIÓN CLAVE PARA EL ÉXITO."

Un buen facilitador puede identificar actores potenciales quienes ya sea de forma individual o conjuntamente pueden eliminar limitaciones y aprovechar las oportunidades nuevas. Un facilitador bien preparado puede manejar conflictos y la resistencia al cambio, los cuales a menudo surgen cuando las personas perciben una amenaza contra ellos (física, emocional, de poder, de estatus, etc.) y que normalmente son perjudiciales para lograr resultados positivos compartidos. El conflicto, o potencial conflicto, con frecuencia se percibe como un elemento negativo al proceso de cambio; sin embargo, con una buena facilitación, y algo de buena suerte, el conflicto puede convertirse en un agente poderoso para el cambio.[126]

Las experiencias dictan que, en procesos propensos a conflictos, un facilitador neutral es una condición clave para el éxito. Los facilitadores deben crear un ambiente de confianza, transparencia, y respeto en el cual se puedan desarrollar objetivos y visiones compartidas. Ellos deben saber cuáles son los diferentes actores y sus relaciones, así como también el entorno e intereses institucionales de la temática. Al mismo tiempo deben ser estrategas y tener una visión sobre posibles resultados. El Recuadro 5.1 describe cómo seleccionar a un facilitador.

Recuadro 5.1 Selección de un facilitador de procesos

Las agencias gubernamentales y organizaciones comunitarias deben aceptar y confiar en los facilitadores de procesos, para que los facilitadores puedan tener la capacidad de influir. [127]

Al momento de seleccionar una institución que preste servicios de facilitación de procesos, se recomienda buscar una que: (1) sea relativamente neutral, sin ninguna agenda en algún sector específico y que sea independiente del gobierno; (2) esté firmemente arraigada en la sociedad civil del país; (3) sea poco convencional y no burocrática; (4) sea aceptada por la mayoría, si no es que por todos, los sectores de la sociedad civil y el gobierno; y (5) tenga experiencia en trabajar con las comunidades locales y que tome en cuenta la equidad de género.

La institución debe tener experiencia en la comunicación con agencias gubernamentales y grupos comunitarios; conocimiento general sobre el sector del agua; experiencia en la resolución de conflictos y procesos de gestión del cambio; y estar familiarizada con abordajes participativos y de partes interesadas.[128]

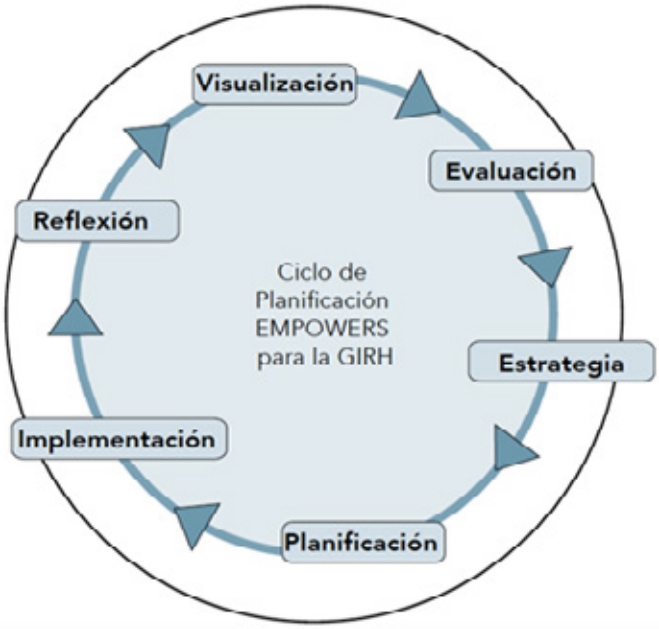
5.3.2 Planificación y toma de decisiones para una acción concertada

Planificación para la gestión de recursos hídricos

Con la participación de los actores involucrados en una nueva organización social emergente, es necesario tener un abordaje bien estructurado para la planificación y toma de decisiones que ayude a identificar y acordar acciones concertadas para mejorar la gestión de las aguas subterráneas. El Ciclo de Planificación EMPOWERS (de empoderamiento)[129] brinda dicho abordaje. Consta de una serie iterativa de seis pasos (Figura 5.4) para facilitar el trabajo y concretar la plataforma de múltiples actores:

- Paso 1 – análisis y visión de los problemas compartidos
- Paso 2 – evaluación, recopilación y análisis de datos compartidos
- Paso 3 – desarrollo de estrategias y escenarios
- Paso 4 – planificación
- Paso 5 – implementación de la acción concertada, y
- Paso 6 - reflexión sobre el proceso

Figura 5.4 El Ciclo de Planificación 'EMPOWERS' para la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)



La Tabla 5.2 resume estos seis pasos, sus objetivos, cómo pueden ser utilizados para planificar y sus resultados aplicados a procesos de organización social alrededor del manejo del agua subterránea. El Ciclo de Planificación EMPOWERS (Caso 5.5) está diseñado para visualizar el futuro de la gestión de las aguas subterráneas como la base para el desarrollo de escenarios hipotéticos sobre los cuales se desarrollan estrategias para el cambio. Estos se complementan con procesos para desarrollar y reforzar la rendición de cuentas y la apropiación local de las actividades mediante la participación y planificación genuinas y con equidad de género.

Caso 5.5 Uso del Ciclo de Planificación 'EMPOWERS' en Marj Sanour, Palestina

Marj Sanour es una pequeña cuenca en la provincia de Jenin al norte de la Ribera Occidental de la Palestina histórica. La cuenca cubre aproximadamente 60 km2, con un valle de 16 km2. La mayoría de las montañas circundantes tienen huertos frutales, predominantemente olivos, el cultivo comercial más importante del país. Siete aldeas están ubicadas en la cuenca con una población total de 24,000 habitantes. El valle no tiene salida de agua superficial y éste a veces se llena como una bañera por la escorrentía superficial de las colinas, causada por el mal manejo del suelo y deficiente conservación del agua, y cual no puede penetrar los suelos arcillosos del valle ricos en nutrientes. La recarga del acuífero es limitada y la mayor parte del agua se pierde por evaporación, lo cual resulta en escasez de agua durante la época de sequía. Por lo tanto, la agricultura se ve restringida tanto por inundaciones como por la falta de agua en la estación seca, lo cual a su vez ejerce una mayor presión sobre las aguas subterráneas. Era urgente comprender cuales eran las opciones para enfrentar la escasez de agua, así como también las inundaciones, dos problemas principales que impedían el desarrollo y, por ende, encontrar soluciones de manejo de cuencas hidrográficas con beneficios para todos los actores involucrados. El plan de desarrollo de cuencas hidrográficas debería mejorar el uso sostenible de las aguas superficiales y a la vez de disminuir la presión sobre las reservas de aguas subterráneas.

En este caso el Ciclo de Planificación EMPOWERS inició con un análisis detallado de los actores meta que involucró a los ministerios más relevantes: la Autoridad Palestina del Agua (PWA), el Ministerio de Agricultura (MoA), el Ministerio de Gobierno Local (MLG), la Autoridad de Calidad Ambiental (EQA) (tanto a nivel provincial como nacional), grupos de usuarios del agua y el suelo, y otras organizaciones comunitarias, consejos de aldea

y municipalidades, organizaciones no gubernamentales (ONG) que trabajan en el área y una universidad con sede en Jenin. El análisis estudió cómo estos grupos se relacionaban con la cuenca en términos de sus tareas, roles, intereses y mandatos. También examinó los flujos de información entre ellos y sus patrones de decisión y coordinación.

Se requirieron de dos plataformas para asegurar la participación de los diferentes grupos de interés locales, así como la aceptación de las instituciones gubernamentales. Se creó una plataforma informal de actores locales para la participación de los consejos de aldea y grupos de la sociedad civil en las siete aldeas, las ONG que trabajan en la zona y los funcionarios de las gobernaciones. También se creó un comité directivo nacional en el que participaron representantes de la comunidad, ONG y agencias gubernamentales nacionales.

A través de la plataforma local, se utilizó un proceso participativo de planificación y toma de decisiones para trabajar hacia una visión para un plan de manejo a largo plazo para la cuenca de Marj Sanour. Al mismo tiempo, y con el apoyo del comité directivo nacional, se desarrolló una base compartida de datos científicos y de ingeniería, así como un sistema de apoyo para planificar y probar los diferentes escenarios y estrategias bajo los cuales se podría desarrollar la visión para la cuenca.

Tras intensas discusiones, las siete aldeas decidieron desarrollar el Comité de Cuencas Hidrográficas de Marj Sanour para coordinar e implementar actividades para toda actividad relacionadas con el agua y la agricultura, desde el suministro de agua potable y las prácticas de riego, hasta la conservación del suelo y el agua en las partes montañosas de la cuenca.
El Comité de Cuencas, debidamente registrado ante el gobierno, representa a las aldeas en foros más amplios donde puede presentarles propuestas a las agencias gubernamentales y la comunidad de donantes, en base a los estudios realizados, los resultados del sistema de apoyo a las decisiones y el plan de desarrollo de la cuenca.
Para resolver el problema de las inundaciones y transportar agua durante la estación seca, el grupo de los actores involucrados –utilizando la planificación mutua y el análisis de multicriterio– recomendó varios proyectos centrados en detener las inundaciones antes de que lleguen al valle; entre los proyectos estaba el mejorar las terrazas y la retención de agua de los suelos en las colinas y la construcción de más cisternas para almacenar agua. También recomendaron la construcción de pozos para la recarga artificial del acuífero y más cisternas para distribuir agua en el valle durante la estación seca. Por lo tanto, a través del manejo del suelo (rehabilitación y recuperación, y la cosecha de agua), el agua puede distribuirse más uniformemente a lo largo del tiempo para beneficiar tanto a los habitantes de las colinas y los valles, como a los ecosistemas de la cuenca, al mismo tiempo que se libera la presión sobre las reservas de agua subterránea.

Tabla 5.2 Diálogo entre actores, la acción concertada (SDCA) y el Ciclo de Planificación 'EMPOWERS' [130]

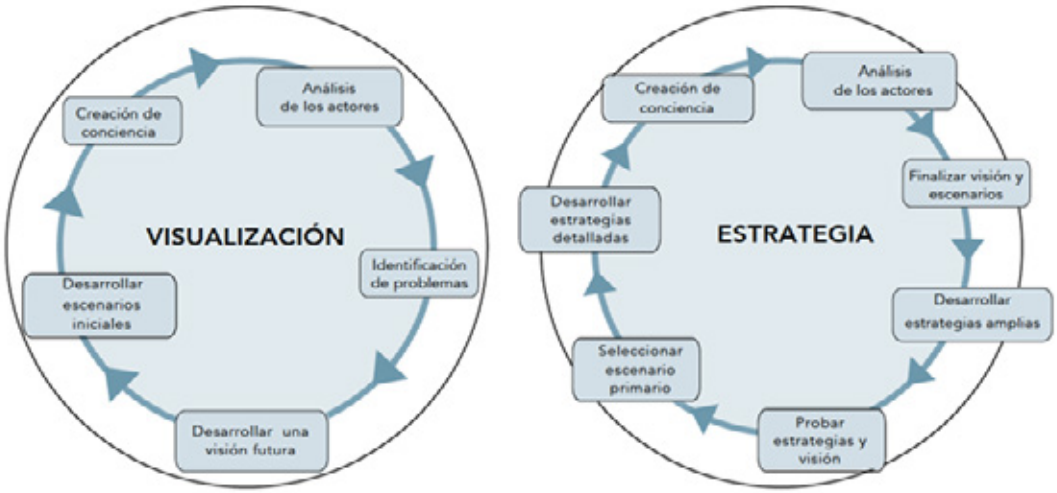
Paso	Objetivos	Acciones (SDCA)	Resultados
1. Visualización	• Actores involucrados e interesados • Alcance amplio de trabajo identificado y acordado	• Identificación y análisis de los actores metas • Análisis del problema • Visión y desarrollo de escenarios iniciales • Identificación de comunidades prioritarias para la acción	• Plataformas de actores • Árbol de problema • Visiones iniciales a nivel de distrito • Escenarios iniciales
2. Evaluación	• Causas principales de los problemas hídricos identificados • Base de información desarrollada, acordada y compartida	• Actores involucrados en la recopilación y el análisis de información; control de calidad y verificación cruzada • Evaluación de la rendición de cuentas y derechos	• Análisis de recursos hídricos, infraestructura, demanda y acceso (Análisis RIDA) • Base de datos provisional • Análisis social (derechos, beneficios, responsabilidades)
3. Estrategias	• Base compartida creada para la planificación de acción integrada vertical y horizontal	• Visiones y escenarios actualizados • Desarrollo de estrategias amplias • Evaluar y validar combinaciones de escenarios/estrategias • Seleccionar escenarios claves y estrategias relacionadas • Priorizar actividades • Definir modalidades de decisiones	• Informes de Evaluación del Recurso Hídrico • Fichas informativas de aguas comunitarias y distritales • Visiones, escenarios y estrategias 'finales' para GIRH
4. Planificación	• Plan(es) detallado(a) para la acción concertada, desarrollada, presupuestada y acordada	• Plan(es) detallado(a) para la acción concertada, desarrollada, presupuestada y acordada • Planificar actividades a nivel de comunidad y provincia • Identificar áreas y responsabilidades • Definir flujos de información • Preparar propuestas de proyecto • Definir planes de monitoreo y evaluación • Adquirir financiamiento	• Historial para propuestas de proyecto • Propuestas de GIRH financiadas para la comunidad, distrito y provincias
5. Implementación	• Actividades implementadas según los planes dentro de un abordaje transparente, de alta calidad y de forma concertada	• Implementar actividades • Crear conciencia • Proceso de licitación (transparente) • Desarrollo de capacidades • Intercambio de información • Control de calidad	• Resultados alcanzados • Capacidades desarrolladas • Información base mejorada
6. Reflexión	• Proceso de implementación documentado • Logros monitoreados • Lecciones aprendidas del ciclo de planificación previo	• Documentación de procesos (+ video) • Monitoreo y evaluación • Aprendizaje y reflexión	• Informes y videos del proceso • Informes de evaluación • Conclusiones obtenidas como insumos para el próximo ciclo de planificación

Visión de la gestión a futuro de las aguas subterráneas

En el primer paso del proceso de visualización (Figura 5.5), los actores involucrados desarrollan una descripción precisa, compartida y acordada de los recursos y servicios hídricos que les gustaría ver en su área de interés, en un tiempo a futuro bien determinado (por ejemplo, en 5 a 10 años). Una visión debe cumplir con los objetivos del método SMART (específicos, medibles, alcanzables, relevantes y acotados a un tiempo). Para ayudar a los actores a visualizar el futuro, los facilitadores los apoyan en el proceso de construcción de escenarios. Los actores definen una gama de posibles circunstancias a futuro, que tienen cierto grado de influencia para concretar la visión. Estas circunstancias a futuro, dependen de la evolución de factores externos críticos (clima, economía global, demografía, extracción de otros acuíferos, conflicto). Con base a tendencias actuales y la evaluación de los factores más importantes, que a la vez tienen mayor incertidumbre, los actores desarrollan escenarios narrativos. Estos escenarios, que son una combinación de información cualitativa y cuantitativa, también ayudan a los actores a reconocer la incertidumbre inherente de la planificación en el sector del agua. La construcción de escenarios permite desarrollar estrategias y planes, incluso para los mejores y peores escenarios.

"PARA AYUDAR A LOS ACTORES A VISUALIZAR EL FUTURO, LOS FACILITADORES LOS APOYAN CON LA CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS."

Figura 5.5 Visualización (Paso 1) y elaboración de estrategias (Paso 3) en el Ciclo de Planificación 'EMPOWERS'



Evaluación de la rendición de cuentas, apropiación y los derechos a nivel local en la gestión de las aguas subterráneas

Durante el ciclo de planificación e implementación, los actores involucrados participan y colaboran en una evaluación de la rendición de cuentas y los derechos locales con respecto al uso y el manejo de los recursos de agua subterránea. Este es un proceso práctico para explorar hasta qué punto se cumplen las condiciones para que la población local se apropia y asume la responsabilidad del manejo y el uso de los recursos hídricos en su comunidad. En muchos casos, la población local no asumirá tal responsabilidad porque no siente que la actividad o sus resultados son realmente suyos (apropiación). Más bien, ellos perciben estas actividades como servicios puntuales de una institución externa (ONG o agencia gubernamental), mientras que no ven los beneficios directos de la actividad y los resultados no satisfacen sus prioridades reales o intereses a largo plazo. La rendición de cuentas se utiliza aquí en el sentido de 'asumir la responsabilidad su propia conducta y acciones y, al mismo tiempo, ser capaces de responsabilizarse por los efectos que dicha conducta y acciones tuvieron otros'. La rendición

de cuentas debe ser definida en todos los niveles de la discusión sobre la gestión sostenible de los recursos de agua subterránea. [131] Esto forma parte integral de la organización social eficaz en torno a la gobernanza del agua subterránea. [132]

"A LA LARGA, LA GESTIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEPENDERÁ DEL SENTIDO DE PROPIEDAD Y GRADO DE RESPONSABILIDAD QUE TIENEN LAS PERSONAS."

Para una buena planificación del manejo sostenible de los recursos hídricos, es fundamental que la población local participe en la evaluación de la rendición de cuentas y los derechos. Dicha evaluación analizará las condiciones previas bajo las cuales construyen sus capacidades y su voluntad de asumir la responsabilidad del manejo de las aguas subterráneas (Figura 5.6). El primer paso es evaluar cómo la población local ve los beneficios (financieros, de influencia, otros) de la gestión de los recursos de agua subterránea. En segundo lugar, ver cuán seguros están de poseer los conocimientos necesarios para para llevar acabo la gestión. Luego, cómo perciben que puedan ejercer sus derechos sobre el recurso de agua subterránea y, finalmente, qué tan empoderados están para obtener beneficios y derechos (poder de reclamo). El análisis, especialmente cuando se realiza con una perspectiva de género, determinará cuales condiciones previas no se cumplen y, por consiguiente, qué factores obstaculizarán la gestión sostenible del recurso. A la larga, la gestión sostenible de las aguas subterráneas dependerá del sentido de apropiación y grado de responsabilidad que las personas tienen y puedan asumir.

Figura 5.6. Marco para evaluar en qué medida se cumplen (o no) las condiciones previas para que las comunidades asuman la responsabilidad de la gestión sostenible de los recursos hídricos [133]

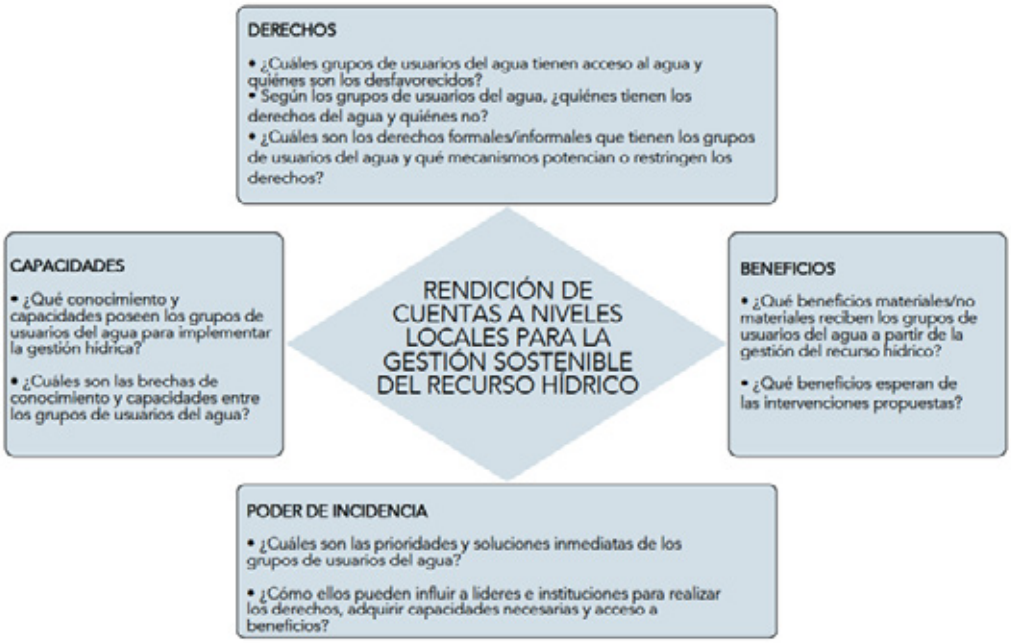


Imagen 5.1 El agua es la responsabilidad de todos, Jordania

Mediante la participación en el análisis de preguntas como aquellas de la Figura 5.6, los usuarios del agua, tanto mujeres como hombres, que trabajan con el Ciclo de Planificación EMPOWERS pueden adaptar estrategias y planes específicos a las prioridades y limitaciones locales. Deberían utilizar un análisis más exhaustivo para explorar cómo estos se ven afectados por la desigualdad de beneficios, derechos, capacidades y poder de reclamo, entre géneros y entre categorías de usuarios del agua. Con el apoyo de los facilitadores, los grupos de usuarios del agua deben poder identificar opciones para superar las limitaciones y restricciones, ya sea dentro o fuera de las comunidades, sobre la apropiación y la responsabilidad de las intervenciones del manejo del agua.

"ES FUNDAMENTAL QUE LA COMUNIDAD LOCAL NO QUEDE AISLADA DE LOS NIVELES MÁS ALTOS DE PLANIFICACIÓN."

La rendición de cuentas a nivel local debe verse como un objetivo a largo plazo y no como un prerrequisito para un programa de desarrollo o una inversión en el sector del agua. Sin embargo, el análisis de las condiciones previas bajo las cuales es probable que la población local asuma cierto grado de responsabilidad por el uso y el manejo de sus recursos de aguas subterráneas, es esencial para comprender cómo se puede facilitar la organización social requerida.

Participación real en varios niveles

A medida que los actores continúan trabajando en el Ciclo de Planificación EMPOWERS y adquieren más información, los facilitadores los ayudan a elaborar escenarios más detallados para el manejo del agua. Luego, ellos pueden diseñar estrategias para alcanzar su visión de la gestión del agua bajo escenarios alternativos para el futuro (Figura 5.5). Entonces es posible la planificación detallada de acciones concertadas. Es importante que las decisiones y recomendaciones tomadas en la aldea, la cuenca, el distrito o jurisdicciones más grandes, estén documentadas en planes que, en la mayoría de los casos, deben estar respaldados por diferentes autoridades gubernamentales. Por tanto, al organizar el manejo del agua subterránea, es fundamental que la comunidad local no quede aislada de los niveles más altos de planificación. Las agencias gubernamentales y las ONG, a su vez, deben centrarse en permitir la participación y el diálogo entre las comunidades y los niveles institucionales superiores.

Pueden hacerlo, por ejemplo, por medio de: [134]

- facilitación de procesos interactivos entre la gama completa de partes interesadas en diferentes niveles institucionales;
- difundir información para una comprensión amplia de la situación de los recursos de agua subterránea a diferentes escalas;
- promover medidas para mejorar el balance de los recursos de aguas subterráneas (si procede), mediante la reducción del uso y consumo, medidas de protección contra la contaminación y mejorar la recarga de aguas subterráneas;
- proporcionar un marco legal, institucional y de políticas favorable, aclarando los diferentes niveles de responsabilidad (ver Capítulo 3), y
- establecer objetivos de manejo realistas y monitorear el progreso.

La participación de los actores debe favorecer enfoques de participación transparentes y facultativos –los niveles más altos en la escala de participación[135] (Tabla 5.3)– sobre la 'participación extractiva'. La Evaluación Participativa Rápida (PRA) y el Aprendizaje y Acción Participativos (PLA) son herramientas diseñadas para ayudar a la población local a comprender mejor su propia situación, establecer prioridades y encontrar soluciones viables.[136] Desafortunadamente, PRA y PLA se usan con demasiada frecuencia de una manera extractiva que solo ayudan a los desarrolladores de infraestructura a desarrollar sus proyectos sin involucrar a la población local en la reflexión, el análisis y las implicaciones sociales y culturales del proyecto.

Tabla 5.3 Los niveles en la escala de participación.[137]

Nivel	Elementos
1. Participación pasiva	Las personas participan solo porque se les informó sobre lo que va a suceder o ha sucedido. La información comunicada a las personas locales les pertenece solo a los profesionales externos.
2. Participación para brindar información	Las personas participan al responder preguntas planteadas por los investigadores utilizando encuestas o abordajes similares. Las personas no pueden influenciar la información ni los hallazgos que se obtienen de ellos.
3. Participación por consulta	Las personas participan al ser consultadas sin ninguna toma de decisiones compartida, y los agentes externos solo escuchan sus puntos de vista. Los agentes externos definen los problemas y las soluciones.
4. Participación para incentivos materiales	Las personas participan brindando recursos; por ejemplo, trabajo a cambio de comida, efectivo y otros incentivos materiales. Se benefician al corto plazo, pero no ven el interés de continuar las actividades cuando paran los incentivos.
5. Participación funcional	Las personas participan formando grupos para cumplir con objetivos determinados relacionados con el proyecto, los cuales involucran el desarrollo o promoción de una organización social iniciada externamente. Funcional al proyecto, tal involucramiento está organizado principalmente después que el proyecto ha tomado decisiones clave.
6. Participación interactiva	Las personas participan en un análisis conjunto, que conduce a planes de acción y la formación de nuevas instituciones locales o el fortalecimiento de aquellas existentes. Las personas pueden tomar control sobre las decisiones y por tanto tienen interés en mantener las actividades y los resultados.
7. Automovilización	Las personas participan asumiendo las actividades de las instituciones externas para cambiar sistemas y procesos. Tal movilización autoiniciada y acción colectiva puede o no cuestionar las distribuciones inequitativas de la riqueza y el poder.

5.3.3 Reflexión, aprendizaje activo y documentación

Un paso importante en la gestión del cambio, y en el Ciclo de Planificación EMPOWERS de la Sección 5.3.2, es la reflexión, el aprendizaje activo y la documentación para consolidar las lecciones aprendidas. En lugar de implementarse como un paso final, se implementa a lo largo del ciclo de gestión.

En proceso de reflexión y aprendizaje activo se busca que un grupo de personas (por ejemplo, una plataforma de partes interesadas) decida examinar objetivamente las cosas que han sucedido y comprender por qué y cómo sucedieron. Es esencial permitir el espacio para el aprendizaje estructurado y no estructurado durante todo el proceso, para evitar o corregir errores, comprender las diferencias de percepción entre los actores y proporcionar información sobre cómo hacer las cosas de manera diferente en el futuro.

La reflexión se puede hacer en períodos breves, pero estructurados, al final de cada actividad principal. Puede ir apoyado por el monitoreo y la evaluación comparativa de los indicadores claves de cambio y por la documentación del proceso. La reflexión es un proceso de aprendizaje continuo mediante el cual los participantes mejoran sus habilidades, y no solo es una forma de evaluación.

La documentación o sistematización de los procesos de cambio puede evidenciar los cambios no tan visibles que ocurren durante la implementación de un proyecto, explorar algunas de las razones de estos cambios y brindar orientación tanto a los actores involucrados como a los facilitadores para mejorar la implementación. El proceso de sistematización se relaciona con cuestiones como el empoderamiento, los cambios de actitud/creencias, la toma de decisiones y la dinámica de los actores.[138] La documentación del proceso no solo sirve para el aprendizaje interno, sino que también permite que las plataformas de partes interesadas compartan conocimientos y resultados con la comunidad en general.

Se requiere de personal y recursos financieros para la sistematización. Uno de los productos clave de este proceso puede ser un libro que recopila historias cortas de los diferentes actores sobre sus percepciones en cuanto lo que ocurrió durante el proceso de cambio (Caso 5.6).[139]

Case 5.6 Abriendo canales para el diálogo en la Provincia de Beni Sueif, Egipto [140]

En Egipto, el proyecto EMPOWERS apoyó la organización social para mejorar el manejo del agua. La documentación del proceso fue una parte integral del abordaje implementado. Esto comenzó con registrar el proceso (Paso 1). Se realizaron entrevistas periódicas a los representantes de los actores claves y grupos focales, el personal del proyecto llevó diarios, se tomaron actas y minutas de las reuniones, se grabaron videos cortos y se tomaron fotografías. Luego este material se estructuró (paso 2, archivado y estructuración) en artículos sencillos, álbumes de fotos, casos de estudio y columnas en periódicos para una difusión rápida. El uso inmediato de estos materiales es uno de los pilares de la documentación del proceso. El análisis de la información (Paso 3) fue importante para el aprendizaje y la reflexión del proyecto. Finalmente, se difundió la información relevante e interesante (Paso 4) a través de diferentes canales y a públicos específicos. Uno de estos canales fue el libro de EMPOWERS distribuido para informar a los profesionales del agua y persuadir a los funcionarios gubernamentales sobre la eficacia del enfoque. A continuación, se presenta una de las múltiples historias de este libro.

"Los funcionarios sabían que obtendrían mejores resultados si coordinaban actividades, pero nadie estaba listo para dar el primer paso. EMPOWERS reunió a las diferentes partes interesadas en una sala. De inmediato, los funcionarios de diferentes departamentos comenzaron a hablar sobre problemas similares, y este fue el inicio de un proceso de coordinación. Se preguntaron por qué no sucedían ciertas cosas y por qué se habían tomado ciertas decisiones. Los trámites burocráticos dieron paso al diálogo abierto. La reunión EMPOWERS hizo posible el primer paso de reunir a los funcionarios de los diferentes ministerios (agua, saneamiento, agricultura).

Eman Ismail, la directora de la Subsecretaría del Ministerio de Agua y Riego en Beni Sueif dijo que el enfoque EMPOWERS les dio las herramientas para resolver cualquier problema. Ella mencionó que a través del proceso EMPOWERS, los funcionarios de las Direcciones de Riego y Agricultura comenzaron a construir una relación dinámica de trabajo, donde podían interactuar entre sí de una manera mucho más directa. Por ejemplo, un funcionario de una Dirección podría indagar sobre las causas de un problema mediante una llamada telefónica a un funcionario de otra Dirección, sin tener que recurrir a largos y complejos procedimientos burocráticos que hacen perder tiempo.
Estos procesos informales condujeron a la cooperación más formal entre el Ministerio de Agricultura y el Minis-

terio Agua y Riego mediante un Memorando de Entendimiento. El memorando requería que los agrónomos crearan conciencia sobre el uso racional y la conservación del agua, en cooperación con los ingenieros hidráulicos. También se acordó que los oficiales de riego asistirían a las reuniones semanales del Departamento de Orientación Agrícola y explicarían la situación del agua en cooperación con los agrónomos. Por más simple que esto parezca, en el contexto burocrático de Egipto estos fueron hitos importantes."

La sistematización de los procesos no trata solamente del registro de los resultados o impactos medibles de una intervención, los cuales se pueden nutrir del monitoreo del proyecto, sino que además trata de capturar cómo se fue dando el proceso. Su objetivo es (1) capturar el cambio en las percepciones de los actores involucrados a medida que se desarrolla el proceso; (2) apoyar la reflexión y el aprendizaje para mejorar constantemente la acción; (3) comprender las razones subyacentes por las cuales un proyecto está funcionando bien o fracasando gravemente; y (4) ayudar a quienes están fuera del proceso a comprender los cambios en el conocimiento, las actitudes y los comportamientos que fueron necesarios para lograr los resultados.

5.4 Lista de verificación: Diseño del diálogo de los actores y la acción concertada

Iniciar e involucrar a los actores meta

- Implementar y documentar un análisis exhaustivo de los actores meta.
- Organizar y activar plataformas de partes interesadas relevantes, si es necesario en diferentes niveles y escalas.
- Movilizar la participación efectiva de los diferentes grupos de interés locales en la plataforma local, con representación en otras plataformas.
- Realizar un análisis social detallado (acceso y derechos al agua, así como responsabilidades a nivel local; Figura 5.6) con resultados que alimenten al proceso de planificación y decisión.

Emprender un proceso participativo de planificación y toma de decisiones

- Seguir los pasos del Ciclo de Planificación EMPOWERS para GIRH (Figura 5.4 y Tabla 5.2): visualización, evaluación y estrategias.
- Asegurar que las conclusiones y decisiones de este proceso participativo de planificación y toma de decisiones sean compartidas con los actores más relevantes; y que estén basadas en una visión SMART y en la construcción de escenarios a mediano plazo (5 a 10 años).
- Establecer una base de datos/información compartida y acordada que sea accesible para todos los actores pertinentes.

Participar en acciones adicionales para consolidar la organización social

- Participar y buscar la creación de capacidades y empoderamiento.
- Elaborar planes detallados para la gestión de las aguas subterráneas a nivel comunitario y también a niveles más amplios (cuencas hidrográficas, distritos) que estén basados en las decisiones compartidas y los compromisos de los actores más relevantes.
- Documentar los resultados, planes y procesos de decisión y compartirlos con un público más amplio.
- En la medida posible, institucionalizar acuerdos y plataformas acordados para la gestión de los recursos de aguas subterráneas.

Actuando en la gestión de las aguas subterráneas

6.1 Catalizando el cambio para la gestión sostenible de las aguas subterráneas

El conocimiento sobre las aguas subterráneas debe conducir a acciones de manejo. El agua subterránea abastece casi el 50 % de toda el agua potable mundial y 43 % de toda el agua utilizada para riego. La incapacidad para gestionar sosteniblemente el agua subterránea pone en riesgo el abastecimiento de agua potable, la seguridad alimentaria y el progreso del desarrollo de las personas vulnerables, así como también el crecimiento económico y la inversión empresarial.[141] Dado que las aguas subterráneas mantienen el caudal base de los ríos e importantes ecosistemas, la incapacidad para manejarla de forma sostenible pone en riesgo la biodiversidad. Con la capacidad de los acuíferos para almacenar agua en tiempos de abundancia y liberar el agua en tiempos difíciles, la incapacidad para manejar adecuadamente las aguas subterráneas deja a los pueblos más vulnerables a la sequía y menos resilientes ante el cambio climático. El reducir estos riesgos significa convertir los principios, las herramientas, las prácticas y los ejemplos de ACUÍFEROS en acciones que impulsan el cambio en la forma en que se han estado gestionando las aguas subterráneas. Las personas deben trabajar juntas, a lo largo de todos los niveles, para catalizar y gestionar los cambios necesarios, tal como lo muestra el modelo colaborativo para la gestión sostenible de las aguas subterráneas presentado en el Capítulo 1 (Figura 1.2). Los usuarios locales de aguas subterráneas, usuarios de gran escala, técnicos, científicos, decisores y políticos –asistidos y apoyados por facilitadores– todos tienen papeles importantes que jugar.

6.1.1 Priorización de la acción conjunta en la gestión de las aguas subterráneas

Es necesario tener estrategias específicas para ayudar a todos los actores involucrados a realizar sus contribuciones para traducir con mayor efectividad y rapidez el conocimiento sobre aguas subterráneas en acción e implementación que conduzcan a la gestión sostenible de las aguas subterráneas. Una clave para el progreso es tomar los pasos para mejorar la participación y el compromiso de los actores involucrados en la gestión de las aguas subterráneas a todo nivel, y construir un entendimiento compartido de los roles que pueden tener y sobre los beneficios que se obtendrán por medio de la acción conjunta. En la mayoría de las situaciones, es probable que los actores requieran de la ayuda de individuos u organizaciones quienes puedan facilitar una mejor participación y construir puentes que mejoren el flujo de conocimiento entre los especialistas técnicos, usuarios de aguas subterráneas, decisores y políticos. Por consiguiente, los esfuerzos para mejorar el uso del conocimiento –ya sea conocimiento local o científico– para empoderar a las personas a actuar, serán más fuertes y tendrán más éxito.

"LA INCAPACIDAD PARA GESTIONAR EL AGUA SUBTERRÁNEA DEJA A LOS PUEBLOS MÁS VULNERABLES A LA SEQUÍA."

Mucho del conocimiento técnico necesario para la gestión de las aguas subterráneas es muy especializado y refleja las complejidades de la hidrogeología y la naturaleza oculta del recurso. El conocimiento de aguas subterráneas a menudo es el privilegio de círculos de especialistas técnicos y, como resultado, el paradigma predominante para el manejo de las aguas subterráneas tiende a estar dirigido por expertos y ser tecnocrático. Las barreras al uso y la aplicación del conocimiento sobre aguas subterráneas están ampliamente difundidas. Superar estas barreras requiere de la colaboración entre especialistas técnicos, usuarios del agua subterránea, decisores y procesos políticos capaces de movilizar la acción. Es necesario un cambio de paradigma para la gestión de aguas subterráneas, pasando de una visión tecnocrática hacia sistemas colaborativos y participativos de conocimiento, donde el conocimiento científico y local se combinan y utilizan para la acción.

Tabla 6.1 Ejemplos de medidas para la gestión de aguas subterráneas[142]

Nivel	Elementos
Reducir el consumo del agua subterránea	Promover mayor productividad hídrica en la agricultura • cambiar patrones, variedades de cultivos y prácticas agrícolas • microrriego y riego de la zona radicular • transporte de agua • aumentar la capacidad de retención hídrica de los suelos • reducir residuos en el procesamiento y comercialización
	Reducir el uso urbano de aguas subterráneas • detección de fugas • reducción en la pérdida y uso del agua doméstica • paisajismo urbano
	Uso de incentivos económicos • tarifas para los usuarios • tarificación de los suministros de energía • redireccionar los subsidios hacia medidas de ahorro de agua • retirar susbidios de cultivos que requieren mucha agua • incentivos para la eficiencia hídrica • extracción controlada con tarjeta inteligente o cuotas
Promover la recarga y retención del agua subterránea	Interceptar y retener la escorrentía superficial e inundaciones • camellones y terrazas • terrazas de curva de nivel y quebradas • pozos de filtración y mantenimiento de hoyos naturales • pozos de inyección • cosecha de agua de las carreteras • lagunas de recarga, represas y diques de arena • retención del agua de inundaciones
	Mejorar la capacidad de infiltración de la superficie del suelo • superficies urbanas pemeables • penetración en los estratos de arcilla • aumento de la infiltración por la actividad de excavado de los animales • diques de arena
	Retención de los caudales subsuperficiales • taponar barrancos con canales de drenajes • represas subsuperficiales
	Gestión conjunta de aguas superficiales y subterráneas • ajustar la distribución del agua superficial para la recarga y el potencial de reuso • almacenamiento del exceso estacional del agua
Regular el desarrollo del agua subterránea	Promover la autorregulación • leyes habilitantes • desarrollar y aplicar reglas locales • monitoreo y evaluación participativos • planificación conjunta de cultivos • inversión local en recarga
	Licenciamiento para pozos y regulación de pozos • prohibiciones geográficas • licenciamiento de plataformas de perforación • rastreabilidad de plataformas/equipo de perforación

Siempre existen oportunidades para actuar e intervenir en la causa para la gestión sostenible de las aguas subterráneas, como lo han demostrado los principios y las prácticas de los capítulos anteriores de ACUÍFEROS. Existe una amplia gama de medidas para proteger la disponibilidad y calidad del agua subterránea, las cuales deben ser definidas a la medida y priorizadas según las circunstancias hidrogeológicas, ecológicas, sociales y económicas (Tabla 6.1). No obstante, para lograr los cambios necesarios para la implementación exitosa y sostenible de tales medidas, es necesario que los científicos, usuarios del agua subterránea y decisores, se alineen alrededor de estrategias para el cambio que combinen el conocimiento de los sistemas de aguas subterráneas (Capítulo 2), la gobernanza (Capítulo 3) y la economía (Capítulo 4) con la organización y movilización social (Capítulo 5). Para tener éxito, las estrategias de cambio en la gestión de las aguas subterráneas deben movilizar la acción a múltiples niveles –local, nacional, regional e internacional– y a la vez, diferenciar las funciones de las distintas partes interesadas.

6.1.2 Estrategias de cambio

Un punto de partida crítico para las estrategias de cambio es crear un sentido de urgencia. Es importante crear conciencia sobre las amenazas del agua subterránea, y los costos y consecuencias tras la incapacidad de manejar sosteniblemente las aguas subterráneas o proteger los recursos de aguas subterráneas de la contaminación. Agencias gubernamentales, científicos y ONG, todos pueden contribuir para desarrollar campañas públicas de información sobre aguas subterráneas. Las campañas informativas deben evidenciar que las aguas subterráneas requieren de un tratamiento especial acorde con sus características y condiciones sociales de uso. Limitar la concienciación a preocupaciones especializadas y técnicas conduce a una participación y un compromiso reducidos con resultados insatisfactorios. Una mejor meta para las campañas informativas públicas es exponer cómo la gestión sostenible de las aguas subterráneas ayudará a atender aquellos problemas que son las principales prioridades del público y los políticos. Para promover acciones urgentes de un manejo sostenible de las aguas subterráneas, se pueden utilizar mensajes claves que se relacionan por ejemplo con:

- La economía y el empleo – fuentes de aguas subterráneas agotadas y contaminadas disuaden la inversión, reducen la rentabilidad industrial y les cuesta a las personas, sus medios de vida y empleos.
- El abastecimiento de agua potable y la salud – la gestión sostenible de las aguas subterráneas provee un suministro seguro de agua.
- La seguridad alimentaria y agricultura sostenible – sin agua subterránea sostenible, la seguridad alimentaria corre peligro.
- El cambio climático y la sequía – los acuíferos proveen almacenamiento subsuperficial de agua que ayuda a construir la resiliencia al cambio climático.
- La conservación de la naturaleza y su biodiversidad – la protección de la naturaleza protege la recarga de aguas subterráneas y la gestión sostenible de las aguas subterráneas ayuda a la conservación de la biodiversidad.

Crear conciencia sobre la importancia del manejo y la protección de las aguas subterráneas es útil, pero por sí sola no conduce al cambio. Los promotores de la gestión sostenible de las aguas subterráneas deben pensar más allá de la concienciación y asegurarse de que la información pública esté incorporada en una estrategia integral de cambio. Se deben desarrollar planes y acciones para involucrar a los actores asociados en estrategias de cambio que utilizan los principios para la organización social de la Sección 5.2 para:

- generar un sentimiento de urgencia
- construir una visión compartida para el futuro
- movilizar coaliciones de actores para que sean los paladines del cambio
- empoderar a los actores, en todos los niveles, para que tomen acciones necesarias para la gestión sostenible de las aguas subterráneas
- demostrar soluciones para la gestión de aguas subterráneas, aprender de ellas y rendir resultados a corto plazo que exhorten a los actores a perseverar y escalar el éxito.

6.2 Involucrar a los actores

6.2.1 Facilitación del proceso

El agua es responsabilidad de todos –y, por consiguiente, lograr los cambios necesarios para la gestión sostenible de las aguas subterráneas requiere que todos los actores asociados se sienten en la mesa del agua. Como lo muestra el Capítulo 5, hacer que las personas se sientan en la mesa para luego crear un proceso justo, equitativo y constructivo requiere de la facilitación.

Es más probable que los procesos para el cambio en la gestión de aguas subterráneas, los inicien promotores locales o nacionales de la gestión sostenible de aguas, el gobierno, una ONG, grupos de interés de sectores específicos (por ejemplo, a través de proyectos de suministro de agua potable, o de agricultura) –o posiblemente una coalición entre estos grupos. Una de las primeras acciones necesarias es la identificación e inclusión de facilitadores de procesos. Buenos facilitadores de procesos son proveedores de servicios. Como se detalla en el Recuadro 5.1, por lo general son independiente del gobierno y ampliamente percibidos como neutrales, expertos y comprometidos. La mayoría de los actores confían en ellos. Para que el proceso tenga éxito en construir la participación de los usuarios de aguas subterráneas, es de vital importancia que los facilitadores de procesos seleccionados tengan experiencia trabajando con comunidades locales y en ayudarlas a participar efectiva y equitativamente en proceso con múltiples actores. Como resultado, usualmente los facilitadores de procesos provienen de la sociedad civil. Ejemplos de facilitadores de procesos pueden ser asesores independientes con experiencia en facilitación, ONG con personal que ha construido una credibilidad y un mandato confiable para facilitar procesos de cambio, o un proyecto diseñado específicamente para desarrollar y facilitar procesos de planificación de los actores.[143]

Acciones requeridas

Los facilitadores de procesos necesitan crear una plataforma para reunir a todos los actores meta. Una actividad temprana crítica es mapear los intereses de todas las partes, incluyendo la diferenciación entre los intereses de las mujeres y los hombres, y un análisis profundo de los actores. Esto debe utilizarse para asegurar que todos los actores meta pertinentes han sido identificadas, han recibido la información, participen abiertamente y que hombres y mujeres participen equitativamente. Los facilitadores de procesos necesitan construir canales de comunicación con los grupos comunitarios, agencias de gobierno, científicos y decisores. Necesitan ser competentes en la moderación de foros donde los participantes trabajan conjuntamente en un ciclo de planificación para los procesos de visualización, evaluación y desarrollo de estrategias (ver Sección 5.3.2). Aún más importante, los facilitadores de procesos tienen la tarea de asegurar que los usuarios locales de aguas subterráneas se sientan cómodos y empoderados con los procesos y la toma de decisiones, y que esto se realice de forma transparente. Para tener éxito, estos facilitadores tienen que ayudar a los actores involucrados a resolver conflictos, así como asegurar que existe el apoyo disponible para desarrollar capacidades y para la implementación de acciones de manejo.[144] Los facilitadores de procesos ayudan con establecer bases de datos compartidas y mecanismos para compilar y compartir información. También apoyan con la documentación del aprendizaje, las decisiones y los planes, y deben asegurarse de compartir y comunicar esta información a las comunidades, grupos sectoriales, agencias técnicas y ministerios del gobierno, los cuales cada uno, a diferentes niveles, tienen responsabilidades para implementar los planes y las acciones acordados.

6.2.2 Usuarios de aguas subterráneas

La necesidad de tener la participación de los usuarios de aguas subterráneas en la gestión de las aguas subterráneas aparenta ser evidente. Sin embargo, a menudo queda descuidada o restringida a un involucramiento superficial. En pocas palabras, para que las acciones de gestión, los requisitos de permisos y licencias, y las regulaciones tengan éxito, los usuarios de aguas subterráneas tienen que estar de acuerdo con estas acciones y deben comprender y sentirse cómodos con la implementación de las mismas. De lo contrario, solo son palabras en un papel.

Los usuarios de aguas subterráneas traen a la mesa conocimiento local sobre usos, prácticas de manejo, disponibilidad y calidad del agua subterránea, el cual ayuda a que los planes y las estrategias para la gestión y protección de las aguas subterráneas sean robustos, localmente pertinentes y por ende sostenibles. A menudo, ellos tienen reglas locales para el manejo de las aguas subterráneas que deben integrarse a los planes y las estrategias. Los usuarios de aguas subterráneas, tanto mujeres como hombres, también deberían poder exigir la rendición de cuentas y poner presión sobre los actores más poderosos –como, por ejemplo, el gobierno o sector empresarial– para que participen y cumplan con sus responsabilidades. Por ello, son agentes críticos del cambio en el manejo sostenible de las aguas subterráneas y cuando se les moviliza con efectividad en procesos para el cambio bien facilitados, equitativos y transparentes, ellos fortalecen los resultados obtenidos.

Todos los usuarios de aguas subterráneas, por supuesto, no son iguales. Es de especial importancia diferenciar entre:

- aquellos que usan el agua subterránea para actividades comerciales y empresariales, tales como productores de gran escala, aquellos que invierten en riego, empresas que usan agua subterránea para generación de energía (p. ej. enfriamiento de la planta eléctrica, extracción de petróleo de esquisto) y cualquier otro usuario industrial; y
- productores familiares locales, agricultores de pequeña escala, otros usuarios artesanales y familias pobres que utilizan el agua subterránea como agua potable en sus hogares y para actividades de subsistencia.

"LOS USUARIOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, TANTO MUJERES COMO HOMBRES, DEBERÍAN PODER EXIGIR LA RENDICIÓN DE CUENTAS."

Los usuarios de gran escala del primer grupo deben poder cubrir los costos del uso y la extracción de agua subterránea, a partir de los ingresos generados por sus inversiones, según los costos económicos totales (Sección 4.2.2). Los usuarios de menor escala del segundo grupo quizá no podrán hacerlo, y en cuyo caso se deben considerar políticas de precios reducidos y subsidios (Sección 4.3.1).

Imagen 6.1 Agua potable segura, un beneficio crítico de la gestión sostenible de las aguas subterráneas

No obstante, ambos grupos comparten intereses a la hora de tomar acciones de manejo para mantener el acceso a suficiente agua subterránea de alta calidad para la salud y seguridad alimentaria, y para sustentar sus medios de vida y actividades económicas. Esto asumiendo que todos los usuarios de aguas subterráneas, en específico los del primer grupo, toman decisiones con una perspectiva a largo plazo y que sus metas de uso de agua subterránea no son a corto plazo ni explotadoras. Cuando los usuarios de aguas subterráneas no reconocen sus intereses en la gestión sostenible y equitativa de las aguas subterráneas, entonces los promotores de agua subterránea y facilitadores de procesos necesitan construir y presentar un caso para el cambio, utilizando resultados analíticos y evidencia. Tendrán que construir un consenso para el caso de acción, mediante el diálogo y procesos de planificación con múltiples actores (Sección 5.3).

Acciones requeridas
Se espera que los usuarios de aguas subterráneas contribuyan a la gestión sostenible de las aguas subterráneas a través de, por ejemplo:

- crear conciencia sobre la necesidad de un manejo sostenible de las aguas subterráneas y compartir su conocimiento local;
- fijar y seguir reglas locales para regular el consumo del agua subterránea;
- crear y activar una plataforma de actores locales y trabajar para movilizar diferentes grupos locales de interés para que participen;
- participar en el mapeo de los actores meta y el análisis social para mejorar el entendimiento sobre el acceso, sus responsabilidades y sus derechos;
- seguir los pasos para crear una visión, evaluación y estrategia en el ciclo de planificación a nivel local, y mediante la representación en la planificación nacional;
- • luchar por y organizar la representación de los usuarios locales en procesos locales de planificación y decisión y en la preparación de planes locales y nacionales para la gestión de las aguas subterráneas, así como también en foros sobre políticas y leyes de aguas subterráneas,
- cabildear para y participar en la creación de capacidades y desarrollo de habilidades de diagnóstico, monitoreo y análisis, así como también en la planificación y gestión de acciones para las aguas subterráneas;
- promover y participar en la sistematización e intercambio de información y datos, incluyendo la creación y aplicación de bases de datos locales y nacionales para mejorar la comprensión de un balance adecuado entre la extracción y recarga de agua subterránea, control de contaminación, protección de zonas de recarga y la importancia del ordenamiento territorial en el manejo de acuíferos;
- promover la comprensión de los costos y beneficios de la gestión sostenible de las aguas subterráneas entre los usuarios de aguas subterráneas, y participar en el diseño y puesta en marcha de esquemas para incentivar mejoras;
- apoyar el desarrollo y/o ajustes de instituciones efectivas y participativas para la gestión de aguas subterráneas, las cuales pueden ser asociaciones de usuarios de agua subterránea y su representación en organizaciones para la gestión de acuíferos;
- cumplir con los requerimientos para los permisos o licencias de extracción y monitoreo de aguas subterráneas; y
- establecer compromisos para asegurar que la participación de los usuarios de agua subterránea no sea solo una actividad más del proyecto, sino que esté aceptada como una parte integral y permanente de la gobernanza del agua.

6.2.3 Agencias técnicas y ejecutoras

Los usuarios del agua subterránea no pueden alcanzar los cambios necesarios para la gestión sostenible de dicho recurso a la escala requerida, si trabajan de forma aislada. Para poder acordar e implementar acciones de gestión, ellos necesitan la ayuda de especialistas. Para informar, influenciar y

recibir el apoyo de los decisores, ellos necesitan la ayuda de instituciones nacionales y regionales. Las agencias que prestan servicios técnicos y con responsabilidades para implementar políticas y planes, juegan un rol importante en las estrategias de cambio, como intermediarios entre los usuarios locales del agua subterránea y los decisores.

Actores que trabajan al nivel de tales agencias técnicas y de ejecución incluyen:

- personal técnico de los Ministerio de Agua, Agricultura, Salud y otros asociados a la regulación de aguas subterráneas
- personal en los departamentos de planificación de los ministerios
- personal técnico y administrativo de los servicios urbanos de agua o servicios rurales de suministro de agua
- personal técnico y administrativo de ONG involucradas en programas o proyectos de gestión de aguas (p.ej. abastecimiento de agua potable, para riego) donde necesitan de agua subterránea
- académicos y científicos en universidades, centros de investigación y otras organizaciones especializadas.

Los modelos tecnocráticos para la gestión de las aguas subterráneas le otorgan prioridad al conocimiento que poseen estos especialistas dentro de una estructura de toma de decisiones de arriba hacia abajo.

En un paradigma colaborativo y participativo, los especialistas son agentes de conocimiento. Deben trabajar activamente para conectar el conocimiento local y tradicional sobre aguas subterráneas con el conocimiento técnico y científico. De esta forma, ellos promueven la implementación práctica de las políticas decididas a nivel nacional y administran las regulaciones. Contribuyen con conocimiento científico y generan conocimiento nuevo a través de estudios y evaluaciones técnicas, a la misma vez que integran la participación local, las necesidades y el conocimiento en la gestión y regulación del uso y protección de las aguas subterráneas.

Todavía es inusual que los estudios hidrogeológicos sean comunicados en un formato y lenguaje comprensibles para los actores más importantes –los usuarios del agua subterránea. Como resultado, los especialistas técnicos y profesionales, en lugar de formar parte de la solución, a menudo forman parte del problema. Por consiguiente, al final existe una mayor demanda de estudios, modelos y monitoreo, que al final terminan siendo más importantes que las solicitudes de más gestión y acción. Existe una gran brecha de comunicación que debe cerrarse, por ejemplo, promover una cultura de intercambio de datos sobre aguas subterráneas en lugar de mantener la información confidencial. Existe la necesidad de no solo disponer de análisis técnico sofisticado, sino que también de compartir, estudiar y promover intervenciones prácticas que han sido exitosas. Para cerrar estas brechas, se requiere de la participación activa de especialistas y profesionales en la creación de capacidades, comunicación, desmitificación de la ciencia hidrológica y priorización de acciones y soluciones.

"LOS ESPECIALISTAS TÉCNICOS SON AGENTES DE CONOCIMIENTO."

Acciones requeridas

Las acciones requeridas por parte de las agencias técnicas y ejecutoras en la gestión sostenible de las aguas subterráneas incluyen:

- construir capacidades técnicas en instituciones y agencias y entre los actores, y apoyar con el desarrollo de las capacidades de los profesionales en aguas subterráneas;
- trabajar conjuntamente con otras partes interesadas incluyendo los usuarios del agua subterránea para concienciar al público sobre las amenazas a los acuíferos, y los costos y beneficios de la gestión de aguas subterráneas;
- mapear y analizar los intereses, preocupaciones y funciones de los actores asociados, incluyendo diferencias entre mujeres y hombres, y apoyarlos para que participen de forma equitativa y a diferentes niveles en plataformas de partes interesadas;
- revisar políticas y leyes que afectan la gestión de aguas subterráneas, incluyendo políticas de agua, agricultura y economía;

- evaluar las características de los acuíferos a través de estudios hidrogeológicos, mapeo y modelación de acuíferos;
- establecer sistemas nacionales para el monitoreo de los niveles del agua subterránea, incluyendo redes de monitoreo de perforación de pozos;
- establecer e intercambiar bases de datos e información, accesibles a todos los actores asociados, y realizar la recopilación, verificación cruzada y organización de datos provenientes de fuentes relevantes;
- crear y administrar el ordenamiento territorial compatible con la gestión sostenible de las aguas subterráneas, incluyendo mapas de vulnerabilidad;
- promover el manejo del paisaje en formas que protejan y mejoren la recarga de los acuíferos;
- identificar controles necesarios para limitar el bombeo del agua subterránea a niveles sostenibles y medidas complementarias necesarias para controlar la demanda hídrica;
- participar, junto con los actores, en los procesos para desarrollar planes locales y nacionales de manejo de aguas subterráneas (con una perspectiva de 5 a 10 años como mínimo), asegurando la participación de los usuarios del agua subterránea, mediante el desarrollo de la visión, evaluación y estrategias;
- asegurar que los planes de manejo de aguas subterráneas estén articulados con la planificación de la gestión de cuencas hidrográficas y las operaciones de organizaciones de cuencas hidrográficas;
- sistematizar los resultados de la implementación de los planos y decisiones tomadas para alimentar los procesos de planificación participativa y difundirlos entre los decisores y hacia una audiencia más amplia;
- administrar y hacer cumplir regulaciones para la gestión de aguas subterráneas, incluyendo un sistema de permisos para la extracción de agua subterránea y control de contaminación;
- emprender estudios de costo-beneficio para la gestión de las aguas subterráneas y estudios de factibilidad para los incentivos económicos, que tomen en cuenta la evaluación económica de los servicios ecosistémicos provistos por el agua subterránea y ecosistemas relacionadas ('naturaleza para el agua subterránea' en áreas de recarga y 'agua subterránea para la naturaleza' en áreas de descarga);
- administrar incentivos económicos y mecanismos de cumplimiento y aplicación, a la vez de apoyar la participación efectiva de todos los actores; y
- apoyar el establecimiento y el funcionamiento de asociaciones de usuarios del agua subterránea y organizaciones para la gestión de acuíferos.

"LOS DECISORES Y POLÍTICOS DE NIVEL NACIONAL PROMUEVEN EL DIÁLOGO A LOS NIVELES MÁS ALTOS."

6.2.4 Decisores, políticos e instituciones financieras

En este nivel están los decisores, políticos y tomadores de decisiones, quienes están a cargo de establecer, a nivel nacional, los marcos políticos y legales apropiados para la gestión sostenible de las aguas subterráneas. Ellos están en los niveles más altos de las agencias técnicas y de implementación (p. ej. en los ministerios), pero también en los órganos legislativos de un país y en las instituciones financieras nacionales e internacionales. Ellos proporcionan el marco político y legal, así como también asignan recursos financieros que permiten que los usuarios locales del agua subterránea e instituciones técnicas y de implementación puedan actuar en sus niveles correspondientes.

Los decisores y políticos a nivel nacional necesitan tener una visión sobre cómo la legislación de aguas subterráneas encaja dentro del marco más amplio de gestión y cómo se traduce en un marco operativo. No es inusual que las leyes sean desarrolladas para un mundo hipotético –ya sea con pautas que no pueden ser implementadas o en la ausencia total de mecanismos de implementación. Por ejemplo, una crítica a la Ley sobre Aguas, Tierras y Árboles de Andhra Pradesh en la India, fue que las responsabilidades operativas para el registro, licenciamiento y aplicación de la ley nunca quedaron claras. Por consiguiente, es preferible que el diseño de leyes nuevas se realice junto con

una evaluación de impacto regulatorio. La evaluación de impacto regulatorio estudia los recursos y las responsabilidades requeridas para hacer que la aplicación de las nuevas leyes, o su ajuste, sea efectiva, incluyendo las disposiciones para anunciar públicamente las leyes y darles instrucciones a las instituciones encargadas hacer cumplir las mismas. Las evaluaciones de impacto regulatorio también analizan el impacto de la ley, incluyendo a quienes beneficia y a quienes no.

Los decisores promueven el diálogo a los niveles más altos para integrar la sostenibilidad de los recursos de aguas subterráneas en los debates sobre prioridades sociales, económicas y ambientales más amplias. De este modo, ellos deben fomentar y apoyar la participación de los usuarios del agua subterránea en estos debates para promover el reconocimiento de derechos y una rendición de cuentas más fuerte, así como también asegurar que las reglas y prácticas locales para la gestión de las aguas subterráneas estén incorporadas en el marco legal, las estrategias y los planes. Ellos deben potenciar la comunicación y el intercambio de conocimiento y datos sobre aguas subterráneas para desarrollar la concienciación del público sobre el agua subterránea y para apoyar la base de evidencia para su gestión a largo plazo.

Las instituciones financieras, incluyendo agencias nacionales, donantes e instituciones financieras multilaterales, juegan un papel importante en este nivel. Ellas pueden otorgarle prioridad a la gestión sostenible de las aguas subterráneas, incluyendo las medidas y prácticas descritas en ACUÍFEROS, dentro de los criterios de selección para financiar esquemas de manejo y conservación de aguas subterráneas. Las decisiones financieras deben tomar en cuenta los múltiples beneficios del manejo de las aguas subterráneas en el desarrollo económico, incluyendo prevención de inundaciones, estabilización del suelo y prevención del hundimiento de suelos, así como también la importancia del agua subterránea como una reserva estratégica que contribuya a la resiliencia a la sequía y contaminación del agua superficial. También pueden motivar a otros diferentes actores a interesarse en el financiamiento para vincular mecanismos globales con acciones e inversiones locales y, por lo tanto, ayudar a incrementar el flujo de financiamiento de, por ejemplo, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial o el Fondo Verde del Clima en la gestión sostenible de las aguas subterráneas.

"UNA DIVERSIDAD DE ACCIONES QUE CONTRIBUYEN A MEJORAR LA GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS."

Acciones requeridas

Las acciones requeridas por parte de los decisores, políticos e instituciones financieras incluyen:

- apoyar la comunicación pública sobre la sostenibilidad de las aguas subterráneas;
- diseñar y adoptar políticas sobre la gestión sostenible de acuíferos que establecen procesos para la creación y activación de plataformas de actores con equilibrio de géneros en diferentes niveles; mecanismos para la representación de los actores asociados en otras plataformas, incluyendo diálogos nacionales; y planificación nacional y local para aguas subterráneas
- adoptar marcos legales necesarios para la gestión sostenible de las aguas subterráneas, incluyendo sistemas para emitir y ejecutar derechos de extracción, fijar límites en la descarga de contaminantes, y regular el uso del suelo para proteger las zonas de recarga y descarga;
- asegurar que se realicen evaluaciones realistas sobre los impactos de las leyes y regulaciones, así como evaluaciones de los recursos y las responsabilidades necesarios para la aplicación efectiva de la ley;
- otorgarles a las instituciones mandatos legales y funciones efectivas en la gobernanza del agua subterránea, incluyendo a las asociaciones de usuarios del agua subterránea a nivel local, agencias técnicas y entes reguladores responsables de administrar licencias de extracción y controlar la contaminación;
- garantizar los derechos de los usuarios locales del agua subterránea, las mujeres y los hombres al acceso a agua subterránea de buena calidad para uso doméstico y agrícola, integrando la conservación de ecosistemas;
- avalar planes de gestión de las aguas subterráneas que fueron diseñados mediante procesos participativos de planificación con los actores involucrados;

- conectar a instituciones de gestión de acuíferos con marcos institucionales más amplios, tales como gobiernos locales u organizaciones de cuencas hidrográficas;
- asignar financiamiento para el manejo de las aguas subterráneas, incluyendo para monitoreo y estudios técnicos, científicos, sociales y económicos;
- tomar en cuenta los resultados de las evaluaciones económicas en las decisiones de inversión relacionadas con aguas subterráneas, incluyendo aquellas que tienen impactos en los ecosistemas;
- definir instrumentos económicos, tales como tarifas de extracción o el precio de la electricidad, que crean incentivos y sanciones (p.ej. en base al principio de "quien contamina paga") para atender la sobreexplotación y contaminación de los recursos de aguas subterráneas;
- aplicar 'pagos por servicios ecosistémicos' para fomentar la inversión en las áreas de recarga y descarga de los acuíferos; y
- revisar políticas económicas y agrícolas para incentivar la gestión sostenible de las aguas subterráneas.

6.3 Demostración, aprendizaje y comunicación

Propiciar el cambio en la gestión de las aguas subterráneas no es fácil. ACUÍFEROS muestra que una diversidad de acciones relacionadas con el conocimiento científico, monitoreo, reformas de gobernanza, incentivos económicos y organización social, contribuyen a mejorar la gestión de aguas subterráneas. Las acciones necesarias involucran a muchos actores distintos en varios niveles. Por tanto, es imposible realizar todos los cambios necesarios de un solo. No obstante, alguien o un grupo de promotores de la gestión sostenible de las aguas subterráneas necesita asumir el liderazgo –ya sea usuarios locales, ONG, científicos, agencias técnicas o decisores– para promover y demostrar el cambio.

Un buen comienzo es enfocarse en un problema específico visible, tal como riesgos debido a la disminución del nivel freático, la contaminación del abastecimiento de agua potable, o amenazas a los medios de vida de los productores o a la seguridad alimentaria nacional, o a la biodiversidad de humedales y vulnerabilidad al cambio climático. El enfocarse en temas concretos que tienen un impacto en las preocupaciones prioritarias, ayuda a las personas a comprender la urgencia y los motiva a unirse con otros para tomar acción. Por ejemplo, una coalición de usuarios locales, ONG y agencias para el manejo hídrico puede emprender un proyecto o crear un programa coordinado. La coalición puede utilizar los Capítulos 2 al 5 de ACUÍFEROS y las listas de verificación al final de cada capítulo (Secciones 2.6, 3.5, 4.6 y 5.4) como punto de partida para identificar acciones prioritarias y planificar proyectos y programas. Luego, los actores deben buscar trabajar en una coalición para demostrar que es posible avanzar en la solución práctica de problemas locales. Por su parte, los promotores y paladines de la gestión sostenible de las aguas subterráneas deben promover el diálogo con actores asociados a las políticas, leyes, inversiones e incentivos, que son los decisores y empresas, pero garantizando que también las voces de los usuarios sean escuchadas.

"LAS COALICIONES PARA LA ACCIÓN UTILIZAN LOS RESULTADOS DE EXPERIENCIAS DEMOSTRATIVAS EXITOSAS A NIVEL LOCAL."

Es crucial que las coaliciones para la acción y los facilitadores de procesos utilicen proactivamente los resultados de experiencias demostrativas exitosas en los diálogos de alto nivel y a nivel local. El aprendizaje y la comunicación de los buenos resultados construye la confianza en el proceso, mejora el consenso y promueve el compromiso al cambio en todos los niveles. Asimismo, para emprender el cambio en la política o implementar cambios en la ley, las agencias ejecutoras y decisores deben ser proactivos en involucrar a los usuarios locales e instituciones para promover la alineación de la solución con las prioridades de un cambio de alto nivel. De esta forma las coaliciones para la acción se expandirán y crecerán, facilitando el intercambio de dos vías del conocimiento y acelerando la ampliación efectiva de la gestión de aguas subterráneas.[145]

6.4 Compromiso con la política de cambio

Un abordaje tecnocrático tiende a aislar el manejo de las aguas subterráneas de los procesos políticos. Muchos podrán considerar que el compromiso de los titulares de poder ejecutivo y legislativo es innecesario ya que las acciones necesitan estar determinadas de acuerdo con el diagnóstico técnico en lugar del diálogo y debate. Esto es una falacia.

En un paradigma colaborativo y participativo de la gestión de aguas subterráneas, como lo indica la Sección 6.2, los especialistas técnicos son agentes de conocimiento, datos e información para informar a los actores –ya sea usuarios locales del agua subterránea, decisores o formuladores de políticas– y para ayudarlos a construir el consenso sobre políticas, planes y acciones de manejo. Los políticos, por su parte, son actores importantes en las estrategias de cambio necesarias para alcanzar la sostenibilidad en el manejo de las aguas subterráneas.

Los voceros de la gestión sostenible de las aguas subterráneas necesitan comprender las políticas asociadas a este recurso y diseñar mecanismos para involucrar a quienes ejercen poder político y tienen la capacidad para generar el cambio. Ellos necesitan que los políticos comprendan los problemas y reconozcan los retos actuales y futuros, así como también las soluciones prácticas asociadas con el agua subterránea –o de lo contrario aquellos que tienen poder no tomarán acción. Por lo tanto, los voceros necesitan construir el argumento social y el caso económico para el manejo de las aguas subterráneas y presentar evidencia de ello. Necesitan formar líderes sobre el tema de aguas subterráneas y trabajar con ellos en coaliciones para la acción y el cambio. Los líderes necesitan información y evidencia que puedan utilizar para justificar la acción, teniendo un peso político: si no se emprenden acciones de manejo sostenible de las aguas subterráneas, entonces esta inacción conllevará a costos a nivel nacional y global que afectarán el crecimiento económico, la reducción de la pobreza, la seguridad alimentaria, el agua potable segura, la biodiversidad y la resiliencia al cambio climático.

"EL COMPROMISO DE LOS TITULARES DE PODER POLÍTICO PUEDE SER VISTO COMO INNECESARIO. ESTO ES UNA FALACIA."

Sin el compromiso ni la participación política, se corre el riesgo que todas las demás acciones descritas en ACUÍFEROS no alcancen la meta de una gestión sostenible para las aguas subterráneas. El éxito no solo depende de la excelencia técnica, elaborar un libro de políticas y leyes bien estructuradas, ni movilizar a los actores asociados para que participen. Sino más bien, el éxito depende de concatenar todas estas acciones de manera coherente con procesos políticos locales y nacionales para motivar a las sociedades a que tomen acción y construyan el consenso para el cambio.

Casos y recuadros

Caso 2.1 Agua marina invade acuífero de Chipre....35

Caso 2.2 Arsénico en el agua subterránea en Bangladesh....41

Caso 2.3 Técnicas geofísicas empleadas para localizar agua subterránea en África....43

Caso 2.4 Modelación de las aguas subterráneas en el Valle de la Muerte....45

Caso 2.5 Modelación de las aguas subterráneas en el Sistema Acuífero de Nubia, Sahara del este....45

Caso 2.6 Gestión de la recarga de acuíferos en México....46

Caso 3.1 El abordaje diferenciado de Sudáfrica....54

Caso 3.2 Requisitos de licencias para extracción de agua subterránea en la Ley del Agua deMéxico....56

Caso 3.3 Regulación del uso del agua subterránea en Sudáfrica....57

Caso 3.4 Regulación de la contaminación del agua subterránea en México....59

Caso 3.5 Regulación de la contaminación del agua subterránea en India....59

Caso 3.6 Regulación de la contaminación del agua subterránea en España....60

Caso 3.7 Asociación local de usuarios del agua subterránea en Barcelona, España....61

Caso 3.8 Comité Técnico de Huichapán-Tecozautla-Nopala, México....66

Caso 4.1 Valoración del sistema de aguas subterráneas del Condado de Orange, California,EE.UU....73

Caso 4.2 Valoración de la fuente de agua subterránea para el acuífero de Stampriet, Namibia....74

Caso 4.3 Cobro por uso de agua subterránea para controlar su extracción en la región metropolitana de Bangkok, Tailandia....80

Caso 4.4 Facturación combinada de electricidad rural y agua subterránea en Mendoza, Argentina....,....81

Caso 4.5 Inversión en el ecosistema del Alto Tuul, Mongolia, para la conservación de los recursos de aguas subterráneas....86

Caso 5.1 El departamento gubernamental desestima el plan de acción de los actores involucrados en Kiribati....93

Caso 5.2 Perseverando por el cambio social, Oregón, EE. UU....94

Caso 5.3 El retorno de facilitar la organización social.....95

Caso 5.4 Inclusión de los actores asociados en el manejo del Oasis de Azraq, Jordania.....96

Caso 5.5 Uso del Ciclo de Planificación 'EMPOWERS' en Marj Sanour, Palestina.....101

Caso 5.6 Abriendo canales para el diálogo en la Provincia de Beni Sueif, Egipto.....108

Recuadro 2.1 Determinación de la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación.....38

Recuadro 2.2 Cuatro propiedades de un acuífero, necesarias para predecir el comportamiento del agua subterránea.....43

Recuadro 5.1 Selección de un facilitador de procesos.....100

Tablas e imágenes

Tabla 1.1 Estimaciones de la extracción mundial de agua subterránea....19

Tabla 2.1 Ventajas y limitación del uso de los acuíferos para el aprovisionamiento de agua....24

Tabla 2.2 Factores hidrogeológicos que afectan la susceptibilidad de un acuífero a la sobreexplotción....36

Tabla 2.3 Métodos para evaluar las condiciones del agua subterránea....40

Tabla 2.4 Métodos para la caracterización de acuíferos....42

Tabla 2.5 Clasificación general de la vulnerabilidad de un acuífero....44

Tabla 3.1 Acciones especificadas en los planes de gestión de aguas subterráneas....54

Tabla 3.2 Configuración institucional para la gestión de aguas subterráneas....65

Tabla 4.1 Posibles enfoques alternativos para la valoración económica del agua subterránea....75

Tabla 5.1 Resumen de los subprocesos y pasos en un proceso de gestión y cambio....95

Tabla 5.2 Diálogo entre actores, la acción concertada (SDCA) y el Ciclo de Planificación 'EMPOWERS'....103

Tabla 5.3 Los niveles en la escala de participación....107

Tabla 6.1 Ejemplos de medidas para la gestión de aguas subterráneas....112

Figura 1.1 La distribución del agua dulce en la Tierra....18

Figura 1.2 Modelo colaborativo para la gestión sostenible de las aguas subterráneas, donde los actores trabajan conjuntamente para aplicar las herramientas y así catalizar e implementar acciones para el manejo de las aguas subterráneas....22

Figura 2.1 Acuífero en un sistema hidrológico amplio....25

Figura 2.2 Textura y porosidad de la roca en acuíferos comunes....26

Figura 2.3 Mapa del recurso de aguas subterráneas en el mundo, ilustrando las cuencas de aguas subterráneas principales (azul), las estructuras hidrogeológicas complejas (verde) y acuíferos locales y de poca profundidad (café)....27

Figura 2.4 Regímenes actuales del caudal de agua subterránea en regiones (a) húmedas y (b) áridas....28

Figura 2.5 Dependencia ecosistémica del agua subterránea para (a) humedales asociados a un acuífero de múltiples estratos en un área húmeda y (b) un arroyo en un área árida....31

Figura 2.6 Componentes químicos que se encuentran naturalmente en el agua subterránea....32

Figura 2.7 Estratificación del agua subterránea y la contaminación con arsénico (As) en las llanuras aluviales del delta Ganges-Brahmaputra en Bangladesh y el terai de Nepal.....33

Figura 2.8 La relación estrecha entre el agua subterránea y la urbanización.....34

Figura 2.9 La gama de actividades que pueden generar una carga contaminante subterránea y la contaminación de un acuífero subyacente. La línea azul representa el nivel freático y el sombreado gris oscuro, debajo del suelo, muestra el tipo de pluma de contaminación del agua subterránea que puede resultar en un sistema de acuífero granular....37

Figura 2.10 Influencia de la carga contaminante y de la potencial vulnerabilidad del acuífero a la contaminación del agua subterránea....38

Figura 4.1 Comparación entre los costos económicos totales por el uso del agua subterránea y los costos comúnmente pagados por los usuarios....71

Figura 4.2 Influencia histórica de las variaciones de las tarifas de electricidad rural en el consumo de energía para el bombeo de aguas subterráneas en México. Existe una influencia positiva tras una reducción significativa de los subsidios en 1990-1992, pero esto no es constante debido a otros factores económicos en la producción agrícola y el cabildeo político....82

Figura 5.1 Todo depende de las diferentes perspectivas....93

Figura 5.2 Ejemplo de un diagrama de radar de la influencia de actores clave en el suministro doméstico de agua subterránea (Nota: 1 es baja influencia; 5 es alta influencia).....97

Figura 5.3 Niveles característicos de los actores en la gobernanza del agua, con el Equipo de Facilitación de Procesos fomentado el diálogo y la acción concertada dentro y entre plataformas de actores en diferentes niveles....99

Figura 5.4 El Ciclo de Planificación 'EMPOWERS' para la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)....101

Figura 5.5 Visualización (Paso 1) y elaboración de estrategias (Paso 3) en el Ciclo de Planificación 'EMPOWERS'....104

Figura 5.6 Marco para evaluar en qué medida se cumplen (o no) las condiciones previas para que las comunidades asuman la responsabilidad de la gestión sostenible de los recursos hídricos....105

Referencias

1 Conti, K.I. 2015. Groundwater in the Sustainable Development Goals: Emphasizing Groundwater in the Negotiation of the Final Goals. Position Paper No. 2. IGRAC, Delft, The Netherlands.

2 Gleick, P.H. 1993. Water in Crisis: a Guide to the World's Fresh Water Resources. Oxford University Press, New York.

3 van der Gun, J. 2012. Groundwater and Global Change: Trends, Opportunities and Challenges. UNESCO, Paris.

4 Reference year: 2010. For original data sources, see Table 2, page 7 in van der Gun. 2012. op cit.

5 WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2015. The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. UNESCO, Paris.

6 Kløve, B., Ala-aho, P., Bertrand, G, Boukalova, Z., Ertürk A., Goldschneider, N., Ilmonen, J., Karakaya, N., Kupfersberger, H., Kvoerner, J., Lundberg, A., Mileusnic, M., Moszczynska, A., Muotka, T., Preda, E., Rossi, P., Siergieiev, D., Simek, J., Wachniew, OP., Angheluta, V. and Widerlund, A. 2011. Groundwater dependent ecosystems. Part I: Hydroecological status and trends. Environmental Science and Policy, 14: 770-781.

7 van der Gun. 2012. op cit.

8 van der Gun. 2012. op cit.

9 Richey, A.S., Thomas, B.F., Lo, M.-H., Reager, J.T., Famiglietti, J.S., Voss, K., Swenson, S., Rodell, M. 2015. Quantifying renewable groundwater stress with GRACE. Water Resources Research, 51: 1-22; and see also ESG (Earth Security Group). 2016. Earth Security Index 2016: Business Diplomacy for Sustainable Development. Earth Security Group, London.

10 van der Gun. 2012. op cit.

11 Foster, S., Koundouri, P., Tuinhof, A., Kemper, K., Nanni, M. and Garduño, H. 2006. Groundwater dependent ecosystems: the challenge of balanced assessment and adequate conservation. Sustainable Groudwater Management Concepts and Tools, GW-MATE Briefing Note Series Note 15. The World Bank, Washington DC.

12 FAO-UN (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016a. Global Framework for Action on Groundwater Governance. http://www.groundwatergovernance.org. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

13 MacDonald, A.M., Davies, J., Calow, R.C. and Chilton, J.C. 2005. Developing groundwater for rural water supply. Practical Action Publishing, Rugby, UK.

14 Source: MacDonald, A.M., Davies, J., Calow, R.C. and Chilton, J.C. 2005. op cit. Reproduced with permission from Practical Action Publishing Ltd., Rugby, UK.

15 Adapted from: MacDonald, A.M., Davies, J., Calow, R.C. and Chilton, J.C. 2005. op cit. Reproduced with permission from Practical Action Publishing Ltd., Rugby, UK.

16 Map of global groundwater resources produced by WHYMAP (Worldwide Hydrological Mapping and Assessment Programme), 2008. http://www.whymap.org/whymap/EN/Home/gw_world_g.html?nn=1577094. Reproduced with permission from Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover.

17 Adapted from Foster, S. and Loucks, D.P. (eds.). 2006. Non-Renewable Groundwater Resources: A Guidebook on Socially-Sustainable Management for Water-Policy Makers. IHP-VI Series on Groundwater No. 10. United Nations Educational, Social and Cultural Organisation, Paris.

18 Source: Foster, S., Koundouri, P., Tuinhof, A., Kemper, K., Nanni, M. and Garduño, H. 2006. op cit. The World Bank Group authorizes the use of this material subject to the terms and conditions on its website, http://www.worldbank.org/terms.

19 Adapted from: Edmunds, W.M. and Smedley, P.L. 1996. Groundwater geochemistry and health: an overview. pp. 91-105 In: Appleton, J.D., Fuge, R. and McCall, G.J.H. (eds.), Environmental Geochemistry and Health with Special Reference
to Developing Countries. Geological Society, London.

20 Adapted from Foster and Loucks. 2006. op. cit., and Smedley, P.L. 2005. An overview of current operational responses to the arsenic issue in South and East Asia. pp. 20-97 In: Towards a More Effective Operational Response. Arsenic Contamination of Groundwater in South and East Asian countries. Volume II: Technical Report. World Bank, New Delhi. The World Bank Group authorizes the use of this material subject to the terms and conditions on its website, http://www.worldbank.org/terms.

21 Adapted from Foster, S., Hirata, R., Misra, S. and Garduño, H. 2010. Urban Groundwater Use Policy: Balancing the Benefits and Risks in Developing Nations. Sustainable Groundwater Management Contributions to Policy Promotion, GW-MATE Strategic Overview Series No. 3. World Bank, Washington DC. The World Bank Group authorizes the use of this material subject to the terms and conditions on its website, http://www.worldbank.org/terms.

22 Morris, B.L., Lawrence, A.R.L., Chilton, P.J.C., Adams, B., Calow, R. C. and Klinck, B. A. 2003. Groundwater and its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the Problem and Options for Management. Early Warning and Assessment Report Series, 03-3. United Nations Environment Programme, Nairobi.

23 Adapted from Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. and Paris, M. 2002. Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Utilities, Municipal Authorities and Environment Agencies. World Bank, Washington DC. The World Bank Group authorizes the use of this material subject to the terms and conditions on its website, http://www.worldbank.org/terms.

24 Source: MacDonald, A.M., Davies, J., Calow, R.C. and Chilton, J.C. 2005. op cit. Reproduced with permission from Practical Action Publishing Ltd., Rugby, UK.

25 WHO (World Health Organization). 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality, Fourth Edition. World Health Organisation, Geneva.

26 Source: BGS (British Geological Survey) and DPHE (Department of Public Health Engineering of Bangladesh). 2001. Arsenic Contamination of Groundwater in Bangladesh, Volume 1: Summary. British Geological Survey ReportWC/00/19. British Geological Survey, Keyworth, UK.

27 For more information on how to use these methods see: USGS. Groundwater Basics: Resources and Introductory Information. US Geological Survey, http://water.usgs.gov/ogw/basics.html; MacDonald, A.M., Davies, J., Calow, R.C., Chilton, J.C. 2005. op cit.; Freeze, R. A. and Cheery, J.A. 1979. Groundwater. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.; and Milsom, J. and Eriksen, A. 2011. Field Geophysics, 4th Edition. John Wiley & Sons. Chicester, UK.

28 To find existing data on an aquifer, consult the local geological survey, national and regional water authorities, rural water supply agencies, agricultural departments and universities. Drilling companies and local consultancies may also hold information about boreholes and have good local knowledge about the location of productive aquifers. International scientific organisations, such as the International Association of Hydrogeologists, may also hold information or advise on other sources of information.

29 MacDonald, A.M. and Calow, R.C. 2009. Developing groundwater for secure rural water supplies in Africa. Desalination, 248: 546-556.

30 Leibundgut, C., Maloszewski, P. and Kullis, C. 2009. Tracers in Hydrology. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, UK.

31 WHO. 2011. op cit.

32 MacDonald, A.M., Darling, W.G., Ball, D.F. and Oster, H. 2003 Identifying trends in groundwater quality using residence time indicators: an example from the Permian aquifer of Dumfries, Scotland. Hydrogeology Journal, 11: 504-517.

33 For more information of groundwater modelling see Rushton, K.R. 2003. Groundwater Hydrology: Conceptual and Computation Models. John Wiley & Sons, Chichester, UK.

34 Belcher, W.R. (ed.). 2004. Death Valley Regional Ground-Water Flow System, Nevada and California - Hydrogeologic Framework and Transient Ground-Water Flow Model. USGS Scientific Investigations Report 2004–5205. http://pubs.usgs.gov/sir/2004/5205/.

35 Gossel, W., Ebraheem, A.M. & Wycisk, P. 2004. A very large scale GIS-based groundwater flow model for the Nubian Sandstone Aquifer in Eastern Sahara (Egypt, northern Sudan, and Eastern Libya). Hydrogeology Journal, 12: 698-713.

36 Gale, I. 2005. Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in Semi-Arid Areas. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation, Paris.

37 Stein, R. and Iza, A. (eds.). 2009. RULE – Reforming Water Governance. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland.

38 Smith, M. and Cartin, M. 2011. Water Vision to Action: Catalysing Change Through the IUCN Water and Nature Initiative. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland.

39 DWAF (Department of Water Affairs of South Africa). 2010. Groundwater Strategy 2010. Department of Water Affairs, Republic of South Africa, Pretoria.

40 Stein, R. and Iza, A. 2009. op cit.

41 Dore, J., Robinson, J. and Smith, M. (eds.). 2010. NEGOTIATE – Reaching Agreements Over Water. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland.

42 DWAF. 2010. op cit.

43 Pietersen, K., Beekman, H.E. and Holland, M. 2011. South African Groundwater Governance Case Study. WRC Report No. KV 273/11. Water Research Commission, Gezina, South Africa.

44 Source: Garduño, H., Romani, S., Sengupta, B., Tuinhof, A. and Davis, R. 2011. India Groundwater Governance Case Study. Water Papers. World Bank, Washington DC.

45 Burchi, S. and Mechlem, K. 2005. Groundwater in International Law: Compilation of Treaties and Other Legal Instruments. FAO and UNESCO, Rome.

46 Puri, S., Appelgren, B., Arnold, G., Aureli, A., Burchi, S., Burke, J., Margat, J. and Pallas, P. 2001. Internationally Shared (Transboundary) Aquifer Resources Management: Their Significance and Sustainable Management. A framework document. IHP-VI, IHP Non Serial Publications, UNESCO, Paris.

47 McCaffrey, S.C. 2009. The International Law Commission Adopts Draft Articles on Transboundary Aquifers. The American Journal of International Law, 103: 272.

48 Sadoff, C., Greiber, T., Smith, M. and Bergkamp, G. (eds.). SHARE – Managing Water Across Boundaries. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland.

49 Adapted from Table 3 in Nanni, M., Foster, S., Dumars, C., Garduño, H., Kemper, K. and Tuinhof, A. 2003. Groundwater legislation and regulatory provision. Sustainable Groundwater Management Concepts and Tools, GW-MATE Briefing Note Series Note 4. The World Bank, Washington DC; and Table 4.1 in Stein, R. and Iza, A. 2009. op cit.

50 Foster, S., Garduño, H., Tuinhof, A. and Tovey, C. 2010. Groundwater governance – conceptual framework for assessment of provisions and needs. Sustainable Groundwater Management Contributions to Policy Promotion, GW-MATE Strategic Overview Series No. 1. The World Bank, Washington DC.

51 FAO-UN (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016b. Global Diagnostic on Groundwater Governance. http://www.groundwatergovernance.org. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

52 FAO-UN. 2016a. op cit.

53 Young, R.A. 1996. Measuring Economic Benefits for Water Investments and Policies. World Bank Technical Paper No. 338. The World Bank, Washington DC.

54 Garduño, H. and Foster, S. 2010. Sustainable groundwater irrigation – approaches to reconciling demand with resources. Sustainable Groundwater Management Contributions to Policy Promotion, GW-MATE Strategic Overview Series No. 4. The World Bank, Washington DC.

55 Perry, C.J., Rock, M. and Seckler, D. 1997. Water as an economic good – a solution or a problem? IWMI Research Report 14. International Water Management Institute, Colombo

56 FAO-UN. 2016a. op cit.

57 Foster, S., Garduño, H., Tuinhof, A. and Tovey, C. 2010. op cit.

58 FAO-UN (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2003. Groundwater Management – The Search for Practical Approaches. FAO-UN Water Reports 25. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

59 Foster, S., Hirata, R. and Garduño, H. 2010. Urban groundwater use policy – balancing the benefits and risks in developing nations. Sustainable Groundwater Management Contributions to Policy Promotion, GW-MATE Strategic Overview Series No. 3. The World Bank, Washington DC.

60 Foster, S. and Shah, T. 2012. Groundwater Resources and Irrigated Agriculture – Making a Beneficial Relation More Sustainable. GWP Perspectives Paper No. 4. Global Water Partnership, Stockholm.

61 Shah, T., Giordano, M. and Mukherji, A. 2012. Political economy of the energy-groundwater nexus in India – exploring issues and assessing policy options. Hydrogeology Journal, 20: 995-1006.

62 OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2015. Drying Wells, Rising Stakes – Towards Sustainable Agricultural Groundwater Use. OECD Studies on Water. OECD Publishing, Paris.

63 Foster, S.S.D. 2000. The 9th Ineson Lecture: assessing and controlling the impacts of agriculture on groundwater - from barley barons to beef bans. Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology, 33: 263-280.

64 Kemper, K., Foster, S., Garduño, H., Nanni, M. and Tuinhof, A. 2004. Economic instruments for groundwater management – using incentives to improve sustainability. Sustainable Groundwater Management Concepts and Tools, GW-MATE Briefing Note Series Note 7. The World Bank, Washington DC.

65 After: Kemper, K., Foster, S., Garduño, H., Nanni, M. and Tuinhof, A. 2004. op cit. The World Bank Group authorizes the use of this material subject to the terms and conditions on its website, http://www.worldbank.org/terms.

66 NRC (National Research Council). 1997. Valuing Groundwater: Economic Concepts and Approaches. Commission on Geosciences, Environment and Resources, National Research Council. National Academy Press, Washington DC.

67 Foster, S. and Loucks, D.P. 2006. op cit.

68 Kemper, K., Foster, S., Garduño, H., Nanni, M. and Tuinhof, A. 2004. op cit.

69 Source : NRC. 1997. op cit.

70 Source: MacGregor, J., Masirembu, S., Williams, R. and Munikasu, C. 2000. Estimating the economic value of water in Namibia. Proceedings of the 1st WARFSA/Waternet Symposium: Sustainable Use of Water Resources, November 1-2, Maputo, Mozambique.

71 Marsden Jacob Associates. 2012. Assessing the Value of Groundwater. Waterlines Report Series No. 89. National Water Commission, Canberra.

72 Garduño, H. and Foster, S. 2010. op cit.

73 Kemper, K., Foster, S., Garduño, H., Nanni, M. and Tuinhof, A. 2004. op cit.

74 Emerton, L. and Bos, E. 2004. VALUE – Counting Ecosystems as Water Infrastructure. IUCN – The World Conservation Union, Gland, Switzerland.

75 Foster, S. and Loucks, D.P. 2006. op cit.

76 Foster, S. and Loucks, D.P. 2006. op cit.

77 FAO-UN. 2016a. op cit.

78 Foster, S. and Cherlet, J. 2014. The Links Between Land-use and Groundwater – Governance Provisions and Management Strategies to secure a 'Sustainable Harvest'. GWP Perspectives Paper No. 6. Global Water Partnership, Stockholm.

79 Deloitte Access Economics. 2013. Economic Value of Groundwater in Australia. Deloitte Access Economics Pty. Ltd., Barton ACT, Australia.

80 Garrido, A., Martinez-Santos, P. and Llamas, M. R. 2006. Groundwater irrigation and its implications for water-policy in semi-arid countries – the Spanish experience. Hydrogeology Journal, 14: 340–349.

81 Source: Foster, S. and Garduño, H. 2006. Integrated approaches to groundwater resource conservation in the Mendoza aquifers of Argentina. GW-MATE Case Profile 6. The World Bank, Washington DC.

82 Kemper, K., Foster, S., Garduño, H., Nanni, M. and Tuinhof, A. 2004. op cit.

83 Schiffler, M. 1998. The Economics of Groundwater Management in Arid Countries: Theory, International Experience and a Case Study of Jordan. German Development Book Series No. 11, Frank Cass Publishers, London.

84 Tuinhof, A., Foster, S., van Steenbergen, F., Talbi, A. and Wishart, M. 2011. Appropriate groundwater management policy for Sub-Saharan Africa – in face of demographic pressure and climatic variability. Sustainable Groundwater Management Contributions to Policy Promotion, GW-MATE Strategic Overview Series No. 5. The World Bank, Washington DC.

85 Buapeng. S. and Foster, S. 2008. Controlling groundwater abstraction and related environmental degradation in Metropolitan Bangkok - Thailand. GW-MATE Case Profile 20. The World Bank, Washington DC.

86 Foster, S. and Garduño, H. 2006. op cit.

87 Kemper, K., Foster, S., Garduño, H., Nanni, M. and Tuinhof, A. 2004. op cit.

88 After Kemper, K., Foster, S., Garduño, H., Nanni, M. and Tuinhof, A. 2004. op cit. The World Bank Group authorizes the use of this material subject to the terms and conditions on its website, http://www.worldbank.org/terms. Details of the more recent evolution of the Mexican groundwater-electrical energy nexus are also available in: OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2013. Making Water Reform Happen in Mexico. OECD Studies on Water. OECD Publishing, Paris.

89 Shah, T. 2009. Taming the Anarchy: Groundwater Governance in South Asia. Resources for the Future Press, Washington DC.

90 Garduño, H. and Foster, S. 2010. op cit.

91 Shah, T., Giordano, M. and Mukherji, A. 2012. op cit.

92 Kemper, K., Foster, S., Garduño, H., Nanni, M. and Tuinhof, A. 2004. op cit.

93 Garduño, H. and Foster, S. 2010. op cit.

94 The availability of critical evaluations of experiences with groundwater markets remains limited. See for example: Jacobs, L.J. and Holway, J.M. 2004. Managing for sustainability in an arid climate: lessons learned from 20 years of groundwater management in Arizona, USA. Hydrogeology Journal, 12 : 52-65; Garduño, H. and Foster, S. 2010. op cit.; Marsden Jacob Associates. 2012. op cit.; and OECD. 2015. op cit.

95 Rinaudo, J.D. and Strosser, P. 2008. Groundwater management and planning: how can economics help? pp. 58-81 in: Quevauvillier, P. (ed.) Groundwater Science & Policy – An International Overview. RSC Publishing, Cambridge, UK.

96 Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. and Paris, M. 2002. op cit.

97 Smith, M., de Groot, D., and Bergkamp, G. (eds.). 2006.

98 Jacobs, L.J. and Holway, J.M. 2004. op cit.

99 Foster, S. and Cherlet, J. 2014. op cit.

100 Foster, S. and Candela, L. 2008. Diffuse groundwater quality impacts from agricultural land-use: management and policy implications of scientific realities. pp. 454-470 in: Quevauvillier, P. op cit.

101 Source: Emerton, L., Erdenesaikhan, N., de Veen, B., Tsogoo, D., Janchivdorj, L., Suvd, P., Enkhtsetseg, B., Gandolgor, G., Dorjsuren, C., Sainbayar, D. and Enkhbaatar, A. 2009. Mongolia - The Economic Value of the Upper Tuul Ecosystem. The World Bank, Washington DC.

102 FAO-UN. 2016a. op cit.

103 Garduño, H. and Foster, S. 2010. op cit.

104 Rinaudo, J.D. and Strosser, P. 2008. op cit.

105 Foster, S. and Candela, L. 2008. op cit.

106 Foster, S.S.D. 2000. op cit.

107 See Section 3.2.1 in Stein, R. and Iza, A. op cit.

108 Hardin, G. 1968. The tragedy of the commons. Science, 162: 1243-1248.

109 Stein, R. and Iza, A. 2009. op cit.

110 Source: Jones, N. Building Shared Understanding – Use of Role Playing Games and Computer Simulation to Negotiate Improved Water management in the Republic of Kiribati. NEGOTIATE Toolkit Case Study. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland http://cmsdata.iucn.org/downloads/kiribati_1.pdf

111 Dore, J., Robinson, J. and Smith, M. 2010. op cit.; and Stein, R. and Iza, A. 2009. op cit.

112 Laban, P., Rabi, A., Rifai, S., Sarsour, S. and Tabakna, O. 2005. Water is everybody's business; facilitating complex processes of local water management. In: Proceedings of the International Water Conference in Palestine, May 2005. PALAST/PWA/UNDP, Ramallah; and see Section 3.3.2 in Dore, J., Robinson, J. and Smith, M. 2010. op cit.

113 Moriarty, P., Bachelor, C., Abd-Alhadi, F., Laban, P. and Fahmy, H. 2007a. The EMPOWERS Approach to Water Governance: Background and Key Concepts. Inter-Islamic Network on Water Resources Development and Management (INWRDAM), Amman, Jordan (http://www.ircwash.org/news/overview-empowers)

114 Laban, P., Haddad, F. and Mizyed, B. 2009. Enhancing rights and local level accountability in water management in the Middle East: conceptual framework and case studies from Palestine and Jordan. pp. 97-122 In: Campese, J., Sunderland, T., Greiber, T. and Oviedo, G. (eds.). Rights-based Approaches: Exploring Issues and Opportunities for conservation. CIFOR and IUCN, Bogor, Indonesia.

115 Moriarty, P., Bachelor, C., Abd-Alhadi, F., Laban, P. and Fahmy, H. 2007a. op cit.

116 van Veldhuizen, L., Waters-Bayer, A. and de Zeeuw, H. 1997. Developing Technology with Farmers: a Trainer's Guide for Participatory Learning. ZED Books, London.

117 Source: Jarvis, T. Community-Based Approaches to Conflict Management: Umatilla County Critical Groundwater Areas, Umatilla County, Oregon, USA. NEGOTIATE Toolkit Case Study. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland http://cmsdata.iucn.org/downloads/northwestern.pdf.

118 See Section 3.2 in in Dore, J., Robinson, J. and Smith, M. 2010. op cit.

119 Moriarty, P., Bachelor, C., Abd-Alhadi, F., Laban, P. and Fahmy, H. 2007a. op cit.; and Table 3.1 in Dore, J., Robinson, J. and Smith, M. 2010. op cit.

120 Source: Moriarty, P., Bachelor, C., Abd-Alhadi, F., Laban, P. and Fahmy, H. 2007a. op cit.

121 SDCA was one of the key approaches developed by the EMPOWERS Programme for developing local water governance in the Mediterranean Region. See Moriarty, P., Bachelor, C., Abd-Alhadi, F., Laban, P. and Fahmy, H. 2007a. op cit.

122 Moriarty, P., and Laban, P. 2005. Learning alliances for local water resource management in Egypt, Jordan and Palestine: lessons from the EMPOWERS project. In: Proceedings of Symposium on Learning Alliances in the Water and Sanitation Sector. IRC, Delft, The Netherlands.

123 Source: Moriarty, P., Bachelor, C., Abd-Alhadi, F., Laban, P. and Fahmy, H. 2007b. The EMPOWERS Approach to Water Governance: Guidelines, Methods, Tools. Inter-Islamic Network on Water Resources Development and Management (INWRDAM), Amman, Jordan (http://www.ircwash.org/news/overview-empowers)

124 Engel, P. 1997. The social organization of innovation; a focus on stakeholder interaction. Royal Tropical Institute, KIT Publications, Amsterdam.

125 Laban, P., Rabi, A., Rifai, S., Sarsour, S. and Tabakna, O. 2005. op cit.; Moriarty, P., Bachelor, C., Abd-Alhadi, F., Laban, P. and Fahmy, H. 2007b. op cit.; and see Section 3.3.2 in Dore, J., Robinson, J. and Smith, M. 2010. op cit.

126 Moriarty, P., Bachelor, C., Abd-Alhadi, F., Laban, P. and Fahmy, H. 2007b. op cit.

127 Laban, P., Rabi, A., Rifai, S., Sarsour, S. and Tabakna, O. 2005. op cit.

128 For several recommended methods, see Moriarty, P., Bachelor, C., Abd-Alhadi, F., Laban, P. and Fahmy, H. 2007b. op cit.

129 The EMPOWERS Planning Cycle provides a well-structured approach for planning and decision-making in the water sector and was developed and tested in the Middle East (2003-2007) and subsequently used in IUCN water programmes. Its aim is to support stakeholders at different levels in making the technical and political decisions to develop and manage their water resources. See Case 5.5. For detailed guidelines and an extensive toolbox for applying the EMPOWERS Planning Cycle refer to Moriarty, P., Bachelor, C., Abd-Alhadi, F., Laban, P. and Fahmy, H. 2007b. op cit.

130 Laban, P., Rabi, A., Rifai, S., Sarsour, S. and Tabakna, O. 2005. op cit.

131 Laban, P. 2007. Accountability and rights in right-based approaches for local water governance. International Journal of Water Resources Development, 23: 355-367.

132 Raising the issue of local-level accountability is not a call to shift responsibilities away from government agencies and NGOs. On the contrary, rights-based approaches stress the need for governments and NGOs to be accountable and responsible to their target groups, so that local people can exercise their rights and assume their own accountability for water resource management within their local settings; see Laban, P. 2007. op cit.

133 See Laban, P. 2007. op cit. for guidelines on how to assess local accountability, rights, benefits and capacities.

134 Garduño, H. Nanni, M., Foster, S., Tuinhof, A., Kemper, K. and Dumars, C. 2003. Stakeholder Participation in Groundwater Management: Mobilizing and Sustaining Aquifer Management Organizations, GW-MATE Briefing Note Series Note 6. The World Bank, Washington DC.

135 See also Table 2.1 in Dore, J., Robinson, J. and Smith, M. 2010. op cit.

136 In the 1980s, Robert Chambers and others provided a wealth of tools and approaches to help local people better understand their own situation, set priorities and find feasible solutions. Many of these tools and approaches are known generically as Participatory Rapid Appraisal (PRA) and Participatory Learning and Action (PLA). Useful guidelines can be found in, among others, IBRD (International Bank for Reconstruction and Development). 1996. The World Bank Participation Source Book. The World Bank, Washington DC; the online PLA platform of the International Institute for Environment and Development (IIED) found at http://www.iied.org/participatory-learningaction;; and in Bolt, E. and Fonseca, C. 2001. Keep it Working: A Field Manual to Support Community Management of Rural Water Supplies. IRC Technical Paper Series 36. International Water and Sanitation Centre, Delft, The Netherlands.

137 Adapted from Pretty, J.N. 1994. Alternative Systems for Inquiry. IDS Bulletin No. 25. Institute of Development Studies, University of Sussex, Brighton, UK.

138 Schouten, T., Mizyed, B., Al-Zoubi, R., Abu-Elseoud, M. and Abd-Alhadi, F. 2007. The Inside Story: Process Documentation Experiences from EMPOWERS – A Guide to Process Documentation. Inter-Islamic Network on Water Resources Development and Management (INWRDAM), Amman, Jordan.

139 Abu-Elseoud, M., Mizyed, B., Al-Zoubi, B., Abd-Alhadi, F., Barghout, M., de la Harpe, J. and Schouten, T. 2007. Doing Things Differently: Stories about Local Water Governance in Egypt, Jordan and Palestine. Inter-Islamic Network on Water Resources Development and Management (INWRDAM), Amman, Jordan (http://www.ircwash.org/news/overview-empowers).

140 Abu-Elseoud, M., Mizyed, B., Al-Zoubi, B., Abd-Alhadi, F., Barghout, M., de la Harpe, J. and Schouten, T. 2007. op cit.

141 ESG (Earth Security Group). 2016. op cit.

142 For guidance on practical measures used for groundwater management, see Chevalking, S., Knoop, L. and van Steenbergen, F. 2008. Ideas for Groundwater Management. Metameta and IUCN, Wageningen, the Netherlands.

143 An example of a project designed to develop and facilitate stakeholder planning processes and change in water management is the EU-funded EMPOWERS project; see Moriarty, P., Bachelor, C., Abd-Alhadi, F., Laban, P. and Fahmy, H. 2007a. op cit.

144 See Chapter 3 of Dore, J., Robinson, J. and Smith, M. 2010. op cit.

145 For further details on strategies for scaling-up change in water management, see for example Chapter 10, Moving from Demonstration Results to Impacts, in: Smith, M. and Cartin, M. 2011. op cit.

Tablas e imágenes

Imagen 1.1	© UICN ROWA
Imagen 2.1	© UICN ROWA
Figura 2.1	Reproducida con el permiso de Practical Action Publishing Ltd. Rugby, UK
Figura 2.2	Reproducida con el permiso de Practical Action Publishing Ltd. Rugby, UK
Figura 2.3	Reproducida con el permiso de Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover
Figura 2.5	El Banco Mundial autoriza el uso de este material sujeto a los términos y condiciones de su sitio Web, http://www.worldbank.org/terms
Figura 2.7	El Banco Mundial autoriza el uso de este material sujeto a los términos y condiciones de su sitio Web, http://www.worldbank.org/terms
Figura 2.8	El Banco Mundial autoriza el uso de este material sujeto a los términos y condiciones de su sitio Web, http://www.worldbank.org/terms
Figura 2.9	El Banco Mundial autoriza el uso de este material sujeto a los términos y condiciones de su sitio Web, http://www.worldbank.org/terms
Figura 2.10	Reproducida con el permiso de Practical Action Publishing Ltd. Rugby, UK
Imagen 3.1	© UICN ROWA
Imagen 4.1	© UICN/Taco Anema
Figura 4.1	El Banco Mundial autoriza el uso de este material sujeto a los términos y condiciones de su sitio Web, http://www.worldbank.org/terms
Figura 4.2	El Banco Mundial autoriza el uso de este material sujeto a los términos y condiciones de su sitio Web, http://www.worldbank.org/terms
Imagen 5.1	© UICN/Taco Anema
Imagen 6.1	© UICN/Taco Anema

Acuíferos — Gestión sostenible de las aguas subterráneas
La gestión sostenible de las aguas subterráneas es clave para la seguridad hídrica en el desarrollo sostenible, resiliencia al cambio climático y para reducir los factores relacionados con el agua de la pérdida de biodiversidad. Esta guía ofrece una explicación sobre los desafíos técnicos que deben atenderse para manejar bien el agua subterránea y sobre el papel importante que juegan la buena gobernanza, el análisis económico e incentivos y la organización social efectiva en las soluciones necesarias. Mediante la explicación de conceptos claves respaldados por ejemplos prácticos de campo, ACUÍFEROS muestra cómo las comunidades, sociedad civil, especialistas técnicos y decisores colaboran para crear el cambio en la gestión de las aguas subterráneas.

Acerca de UICN
La UICN es una Unión de Miembros compuesta por Estados soberanos, agencias gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil. Cuenta con la experiencia, los recursos y el alcance de sus más de 1400 organizaciones Miembro y los aportes de más de 15.000 expertos. La UICN es la autoridad mundial en cuanto al estado de la naturaleza y los recursos naturales, así como las medidas necesarias para protegerlos.
www.iucn.org

Acerca de la Iniciativa del Agua y la Naturaleza de UICN
La Iniciativa del Agua y la Naturaleza de UICN es un programa de acción para demostrar que la gestión basada en el ecosistema y la participación de los actores ayudan a solucionar el dilema del agua de hoy en día –revitalización de los ríos y mantenimiento de la fuente del recurso para todos.
www.waterandnature.org