Gestión de aguas subterráneas en la GIRH

Manual de capacitación

Cap-Net

Febrero de 2010

CONTENIDO

PREFACIO 7
AGRADECIMIENTOS 7
MÓDULO 1: LA GIRH Y LA GESTIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS 6
Objetivos de aprendizaje 6
1. Introducción: Por qué es importante la gestión de las aguas subterráneas 6
2. ¿Qué es la GIRH? 6
2.1 Marco general 7
2.2 Áreas de cambio de la GIRH 9
2.3 Ambiente propicio 9
2.4 Roles institucionales 10
2.5 Instrumentos de gestión 10
3. Recursos hídricos subterráneos 11
4. Gestión de aguas subterráneas 11
5. ¿Por qué un enfoque integrado para la gestión de las aguas subterráneas? 12
Referencias y lecturas en la web 13
Ejercicio: 14
MÓDULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACUÍFEROS PARA LA GESTIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS 15
Objetivos de aprendizaje: 15
1. Introducción 15
2. Ocurrencia de las aguas subterráneas 15
¿Cuáles son las principales funciones de los acuíferos? 15
¿Cuáles son las formaciones hidrogeológicas más comunes? 16
¿Cuáles son las principales diferencias entre acuíferos grandes y pequeños? 17
3. Movimiento del agua subterránea 18
¿Cómo fluye el agua subterránea? 18
¿Por qué importa estimar la recarga? 19
¿Es necesario conocer la descarga? 20
¿Por qué es necesario un balance hídrico? 21
4. Problemas naturales que afectan la calidad del agua subterránea 22
¿Cuáles son las amenazas naturales a la calidad del agua? 22
Origen y existencia de amenazas naturales a la calidad del agua 22
Estrategia para minimizar los impactos negativos 23
5. Información necesaria para la gestión de las aguas subterráneas 25
¿Dónde se encuentran los recursos de aguas subterráneas? 25
¿Cuán vulnerable es un acuífero libre? 25
¿Cuál es el rendimiento sostenible de un acuífero? 26
¿Dónde se encuentran las zonas de recarga? 26
¿Dónde se produce la interacción del agua subterránea con el agua superficial? 26
¿Cuáles son los cambios a corto y largo plazo en las aguas subterráneas? 27
¿Hay motivo de preocupación por la calidad natural del agua? 27
6. Resumen: ¿Qué necesitamos conocer para una correcta gestión de las aguas subterráneas? 27
Referencias y lectura en la web 29
MÓDULO 3: GESTIÓN INTEGRADA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA PRÁCTICA 30
Objetivos de aprendizaje 30
1. Modelo de funcionamiento de los sistemas acuíferos 30
2. Pautas para la práctica de la gestión y gobernabilidad de las aguas subterráneas 31
3. Funciones de la gestión de las aguas subterráneas 33
4. Incorporación de las aguas subterráneas en las estrategias de GIRH 35
4.1 Lineamientos claves para la política 35
4.2 Las aguas subterráneas en la planificación de la GIRH a nivel nacional 36
4.3 Planificación integrada de la cuenca 38
5. Enfoques para los acuíferos transfronterizos 41
6. Aguas subterráneas y ambiente 42
Tipos de ecosistemas que dependen de las aguas subterráneas 42

Gestión ambiental y de aguas subterráneas 42
7. Resumen **44**
Referencias y lecturas en la web **44**
Ejercicio 45
MÓDULO 4: LEGISLACIÓN Y REGULACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA 46
Objetivos de aprendizaje: **46**
1. ¿Por qué debe haber una legislación de aguas subterráneas? **46**
2. Conceptos legales básicos **47**
3. Evolución de la legislación de aguas subterráneas **47**
4. Componentes de la legislación **49**
5. Acuerdos institucionales **50**
Rol del estado 50
Implementación de la legislación de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) 51
Referencias y lecturas en la web **53**
MÓDULO 5: ASIGNACIÓN DE DERECHOS DE AGUA SUBTERRÁNEA 54
Objetivos de aprendizaje: **54**
1. Introducción **54**
2. ¿Por qué se necesita un sistema de derechos de agua subterránea? **54**
3. ¿Qué implica un sistema de derechos de agua subterránea? **55**
4. Asignación del agua subterránea **56**
4.1 ¿Cuáles son los principales criterios de asignación? 56
4.2 ¿Cómo se pueden administrar los derechos de agua subterránea? 56
4.3 ¿Cuáles son las principales interacciones en la administración de los derechos de agua subterránea? 59
5. Asignación de aguas subterráneas no renovables **60**
6 Resumen **60**
Referencias y lecturas en la web **60**
Ejercicio 61
MÓDULO 6: INSTRUMENTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS 62
Objetivos de aprendizaje **62**
1. ¿Por qué son importantes las consideraciones económicas en la protección y gestión de las aguas subterráneas? **62**
Relación entre el agua superficial y subterránea 62
2. Explicación de los instrumentos económicos y financieros **62**
2.1 Instrumentos económicos 62
2.2 Instrumentos financieros 63
2.3 Valor del agua 65
3. El agua como bien económico y social **65**
¿Cuándo es el agua un bien económico? 65
¿Por qué el agua es un bien social? 65
4. Aplicación de los instrumentos económicos y financieros **66**
Uso más racional del agua 66
Instrumentos 66
5. Instrumentos económicos y financieros en la gestión de las aguas subterráneas **67**
6. ¿Qué medidas hay que tomar para introducir los instrumentos económicos en la gestión de las aguas subterráneas? **68**
¿Qué instrumentos económicos se encuentran disponibles para monitorear la contaminación del agua subterránea? 68
Instrumentos económicos y funciones de gestión del agua 69
7. Resumen **69**
Referencias y lecturas en la web **69**
EJERCICIO 70
MÓDULO 7: PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS 72
Objetivos de aprendizaje: **72**
1. ¿Por qué deben participar las partes interesadas? **72**

2. Identificación de partes interesadas clave 73
3. Funciones de las partes interesadas en la gestión de las aguas subterráneas 75
4. Mecanismos institucionales para la participación de las partes interesadas en la gestión de las aguas subterráneas 76
5. Movilización de las partes interesadas 77
6. Comentarios finales 78
Referencias y lecturas en la web 79
EJERCICIO 79
MÓDULO 8: GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA 80
Objetivos de aprendizaje: 80
1. Introducción 80
¿Por qué hay que proteger las fuentes de agua subterránea? 80
2. Evaluación de riesgos 80
2.1 ¿Cómo se contaminan los acuíferos? 80
2.2 ¿Cómo se puede evaluar el peligro de contaminación del agua subterránea? 81
2.3 ¿Cómo se mide y se controla la calidad del agua subterránea? 83
3. Sistemas de gestión de la calidad y contaminación del agua subterránea 83
3.1 Protección del agua subterránea contra la contaminación 83
3.2 El ciclo de vida de los desechos y contaminación del agua subterránea 84
3.3 ¿Qué implica proteger el agua subterránea contra la contaminación? 86
3.4 ¿Quién debe promover la protección contra la contaminación del agua subterránea? 86
3.5 Calidad del agua subterránea y del agua residual urbana 87
¿Cómo se relacionan las aguas residuales urbanas con el agua subterránea? 87
¿Qué tipos de medidas existen para reducir los riesgos e incrementar los beneficios? 87
Referencias y lecturas en la web 89
EJERCICIO 89
MÓDULO 9: MONITOREO DEL AGUA SUBTERRÁNEA 90
Objetivos de aprendizaje: 90
1. Introducción 90
1.1 Ciclo de monitoreo del agua subterránea 90
1.2 Beneficios del monitoreo 91
1.3 ¿Cómo se realiza el monitoreo? 91
2. ¿Cómo podemos garantizar que el monitoreo del agua subterránea sea rentable? 92
2.1 Diseño básico de una red de monitoreo 93
¿Cuál es el objetivo del monitoreo? 93
¿Qué monitorear? 94
¿Dónde monitorear? 94
¿Cómo monitorear? 95
¿Cuándo monitorear? 95
Interpretación de datos 96
3. ¿Cómo se debe compartir la responsabilidad del monitoreo del agua subterránea? 96
4. Diseño de la red de monitoreo 96
Medición del uso del agua subterránea y respuesta de los acuíferos. 97
¿Cuáles son los temas clave en el monitoreo de las fluctuaciones y tendencias de los niveles de agua subterránea? 97
Cómo monitorear la extracción 97
Detección de cambios en la calidad del agua subterránea 98
Cómo monitorear la calidad del agua subterránea 99
5. Resumen 100
Referencias y lecturas en la web 100
EJERCICIO 100
MÓDULO 10: AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO 101
Objetivos de aprendizaje: 101
1. Conceptos fundamentales 101
1.1 Agua subterránea y el ciclo hidrológico 101
1.2 Cambio climático y variabilidad hidrológica 101
2. Impactos del cambio climático en el agua subterránea 103

2.1 Recarga 103
2.2 Descarga 103
2.3 Almacenamiento de agua subterránea 104
2.4 Calidad del agua 104
3. Impactos de factores no climáticos 105
4. Consecuencias para los sistemas y sectores que dependen del agua subterránea 105
4.1 Comunidades rurales y urbanas 106
4.2 Agricultura 106
4.2 Ecosistemas 106
4.4 Incertidumbres y brechas de conocimiento 107
5. Adaptación al cambio climático 108
5.1 ¿Qué es la adaptación? 108
5.2 Gestión de adaptación del agua subterránea 108
5.3 Desarrollo de capacidades adaptativas para la gestión de las aguas subterráneas 111
6. Ejemplo de adaptación: gestión de la recarga y almacenamiento de acuíferos 111
6.1 Recarga de acuíferos gestionados 111
6.2 Ejemplo de RCG: diques de arena en Kenia 112
6.3 El enfoque integrado: gestión de los contenedores de agua - el enfoque de las 3R 112
Referencias y lecturas en la web 113
MÓDULO 11: GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN 114
Objetivos de aprendizaje: 114
1. Introducción 114
Gestión de la información 114
2. Proceso de gestión de la información 115
Captura de información 115
Procesamiento de información 115
Intercambio y difusión de información 115
Plan de gestión de la información 116
3. Herramientas de gestión de la información 116
Tipos de información y sus características 116
Ejemplos de algunas herramientas de gestión de la información 116
Pautas para el desarrollo de los sistemas de TIC 117
4. Gestión de la información y monitoreo, modelación y sistemas de apoyo para la toma de decisiones (SATD) 117
5. ¿Qué es la comunicación y por qué es importante? 118
Definición 118
Comunicación sobre agua subterránea 119
6. ¿Cuáles son los conceptos clave en la "comunicación sobre agua subterránea"? 119
El receptor no es un experto en aguas subterráneas 119
La imagen del agua subterránea 119
7. Métodos, materiales y destrezas de comunicación 119
Métodos de comunicación 120
Material de comunicación 121
Destrezas de comunicación 121
8. Lecciones 121
Referencias y lecturas en la web 122
EJERCICIO 123

Prefacio

En muchos países, las aguas subterráneas son de vital importancia para la subsistencia y la salud de las personas ya que a menudo son la principal fuente de agua para el uso doméstico. También son ampliamente utilizadas en la agricultura bajo riego y la industria. Esto es particularmente cierto en las regiones áridas donde el agua superficial es escasa o estacional y en áreas rurales con poblaciones dispersas. Es probable que el cambio climático ocasione una mayor dependencia de las aguas subterráneas como protección contra las sequías dada la creciente incertidumbre respecto de la disponibilidad de agua superficial.

Es ampliamente reconocido que los recursos hídricos, incluidas las aguas subterráneas, están sometidos a presión por una demanda en aumento y rendimientos decrecientes. A menudo los sistemas de abastecimiento de agua se han desarrollado de manera insostenible, amenazando el fundamental desarrollo social y económico. Como resultado de esto, muchos gobiernos han reformado la gestión de los recursos hídricos para adoptar el enfoque conocido como Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).

Un asunto importante es la inadecuada atención prestada a la gestión de las aguas subterráneas en las reformas implementadas para adoptar el enfoque de GIRH. Y eso a pesar de que un principio fundamental de la GIRH es que el agua es un recurso (interconectado) que requiere de un enfoque holístico para su gestión, por lo que las aguas subterráneas deben estar incluidas.

Después de una serie de estudios de casos en África y algunos cursos piloto de capacitación, Cap-Net, Africa Groundwater Network (AGW-Net) y GW-MATE (Equipo Asesor en Gestión de Aguas Subterráneas) colaboraron en la preparación de este material de capacitación sobre gestión de las aguas subterráneas. Un objetivo importante de este material es abordar las aguas subterráneas desde la perspectiva de la GIRH. La meta del curso es presentar a los expertos en aguas subterráneas un marco más amplio para la gestión de las mismas y los desafíos específicos de su gestión a otros profesionales del agua.

Las aguas subterráneas son técnicamente complejas, pero el experto técnico y el administrador de recursos hídricos deben llegar a un entendimiento mutuo. Esperamos que este material de capacitación ayude a alcanzar ese objetivo.

Paul Taylor Richard Owen Albert Tuinhof
Cap-Net AGW-net GW-MATE

Agradecimientos

Este manual fue preparado por los doctores Richard Owen, Muna Mirghani, Moustapha Diene, Albert Tuinhof y Paul Taylor. Para la mayoría de los módulos, se ha contado con el aporte de la excelente serie de notas informativas redactadas por miembros de GW-MATE, un programa del Banco Mundial.

La colección completa de notas informativas puede encontrarse en: http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,contentMDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:4602123,00.html tanto en inglés como en español. La versión en CD del manual de capacitación incluye las notas informativas, las presentaciones en PowerPoint y las respectivas traducciones.

Las opiniones vertidas en este documento no necesariamente expresan el pensamiento oficial de la Unión Europea, el Banco Mundial o del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

La traducción al español fue realizada por las profesoras Myriam Pikeris y Priva Braunfeld del Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua (CELA) del Instituto Nacional del Agua (INA) y revisada por la doctora Marta Paris de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) en un trabajo colaborativo entre la Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (Arg Cap-Net) y la Red Latinoamericana de desarrollo de capacidades para la gestión integrada de los recursos Hídricos (La-WetNet).

Foto de tapa: Water Research Commission, Sudáfrica.

Módulo 1: La GIRH y la gestión de las aguas subterráneas

Objetivos de aprendizaje

- Comprender los principios y temas clave de la GIRH y la relevancia de las aguas subterráneas.
- Valorar las características especiales de las aguas subterráneas en comparación con las de los recursos hídricos superficiales.
- Reconocer los desafíos que enfrenta la gestión de las aguas subterráneas y la necesidad de nuevos enfoques para tratar los problemas de la gestión de recursos.
- Destacar las principales ventajas de incluir la gestión de las aguas subterráneas en la planificación de los recursos hídricos tanto a nivel nacional como de cuenca hidrográfica en particular.

1. Introducción: Por qué es importante la gestión de las aguas subterráneas

③ **Importancia de las aguas subterráneas.**

Las aguas subterráneas son vitales para muchos países. En todo el mundo, alrededor de dos billones de personas, innumerables agricultores y muchísimos establecimientos industriales dependen de su suministro. El desarrollo acelerado de las últimas décadas ha generado grandes beneficios sociales y económicos al proporcionar suministros de agua a bajo costo, confiables durante sequías y (generalmente) de alta calidad para la población urbana y rural y para el riego de cultivos (de alto valor potencial). Usos adicionales serán también vitales para el cumplimiento de las "Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas" (United Nations Millennium Development Goals).

③ **Uso sostenible de las aguas subterráneas**

En todo el mundo se reconoce a la explotación y gestión sostenibles de los recursos hídricos como el objetivo final de las estrategias hídricas de las naciones. La sostenibilidad de los recursos hídricos subterráneos está estrechamente vinculada a una variedad de temas de micro- y macro-políticas que influyen en el uso del agua y del suelo y constituye uno de los principales desafíos en la gestión de los recursos naturales. Se han descuidado gravemente las inversiones en gestión y protección de los recursos básicos. Se necesitan con urgencia avances prácticos**.** No existe ningún plan de acción simple debido a la variabilidad inherente a los sistemas de aguas subterráneas y a las respectivas situaciones socioeconómicas. Muchos países en desarrollo deben tomar conciencia de su dependencia socioeconómica de las aguas subterráneas e invertir en el fortalecimiento de sus instituciones y en el desarrollo de capacidades para mejorar la gestión de las mismas antes de que sea demasiado tarde.

La tradicional separación institucional entre aguas superficiales y aguas subterráneas ha creado barreras que ahora afectan la comunicación entre técnicos y políticos, administradores y usuarios del agua. Estas barreras impiden la comprensión de los procesos y de las consecuencias de la interacción entre aguas superficiales y subterráneas.

2. ¿Qué es la GIRH?

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) es un enfoque que promueve el desarrollo y la gestión coordinados de agua, suelos y demás recursos asociados con el objeto de maximizar el bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales.

Esto comprende un desarrollo y una gestión más coordinados de:

③ suelo y agua

- aguas superficiales y subterráneas
- la cuenca hidrográfica y sus ambientes costero y marino adyacentes
- intereses aguas arriba y aguas abajo.

Sin embargo, la GIRH no es solo manejar recursos físicos, sino también reformar los sistemas humanos para permitir que las personas, tanto hombres como mujeres, se beneficien con esos recursos.

En pocas palabras, la GIRH es un concepto lógico y atractivo basado en la interdependencia de los diferentes usos de los recursos hídricos. Eso es algo evidente para todos**:** las grandes demandas de agua para riego y la contaminación por drenaje agrícola significan menos agua dulce para usos domésticos e industriales; las aguas residuales municipales e industriales contaminan los ríos y amenazan a los ecosistemas. Por otra parte, si hay que dejar agua en un río para proteger a la industria pesquera y a los ecosistemas, es menos lo que se destina a los cultivos. Abundan los ejemplos de que un uso no regulado de los escasos recursos hídricos implica derroche y es esencialmente insostenible.

Gestión integrada significa que todos los usos de los recursos hídricos se consideran en conjunto. La asignación del agua y demás decisiones de gestión referidas a los recursos hídricos toman en cuenta el impacto de cada uso sobre los demás. Pueden considerar las metas sociales y económicas generales, incluido el logro de un desarrollo sostenible. Esto también significa asegurar la formulación de políticas coherentes relacionadas con todos los sectores. Como se verá más adelante, se ha ampliado el concepto básico de GIRH para incorporar la toma de decisiones participativas. Los diferentes grupos de usuarios (agricultores, comunidades, ambientalistas) pueden influir en las estrategias para el desarrollo y gestión de los recursos hídricos. Esto tiene beneficios adicionales ya que los usuarios informados practican una autorregulación local en cuestiones tales como conservación del agua y protección de la cuenca de manera mucho más efectiva que lo que pueden lograr una regulación y una supervisión centralizadas.

El término **gestión** se utiliza en su sentido más amplio. Pone énfasis en que no solo debemos centrarnos en el desarrollo de los recursos hídricos sino que debemos gestionar el desarrollo del agua de forma consciente a fin de garantizar su uso sostenible a largo plazo para las generaciones futuras.

La gestión integrada de recursos hídricos puede definirse como el proceso sistemático para el desarrollo sostenible, la asignación y el monitoreo del uso de los recursos hídricos en un contexto de objetivos sociales, económicos y ambientales. Esto contrasta con el enfoque sectorial que aún se aplica en muchos países. Cuando la responsabilidad del agua potable recae en un organismo, la del agua de riego en otro y la del ambiente en otro diferente, la falta de vínculos entre los diferentes sectores lleva a la falta de coordinación en la gestión y el desarrollo de los recursos hídricos, lo que ocasiona conflictos, pérdidas y sistemas insostenibles.

¿Podría dar más ejemplos en los que la integración puede resultar beneficiosa?

2.1 Marco general

La GIRH hace al fortalecimiento de los esquemas de gobernabilidad del agua para promover la buena toma de decisiones en respuesta a necesidades y situaciones cambiantes. No existe ningún plan de acción simple para integrar la gestión de los recursos hídricos que se adapte a todos los casos. Sin embargo, se puede establecer un marco general basado en los principios de Dublín (Cuadro 1.1) y en los tres pilares que conducen a la sostenibilidad: eficiencia económica, sostenibilidad ambiental y equidad social (Figura 1.1).

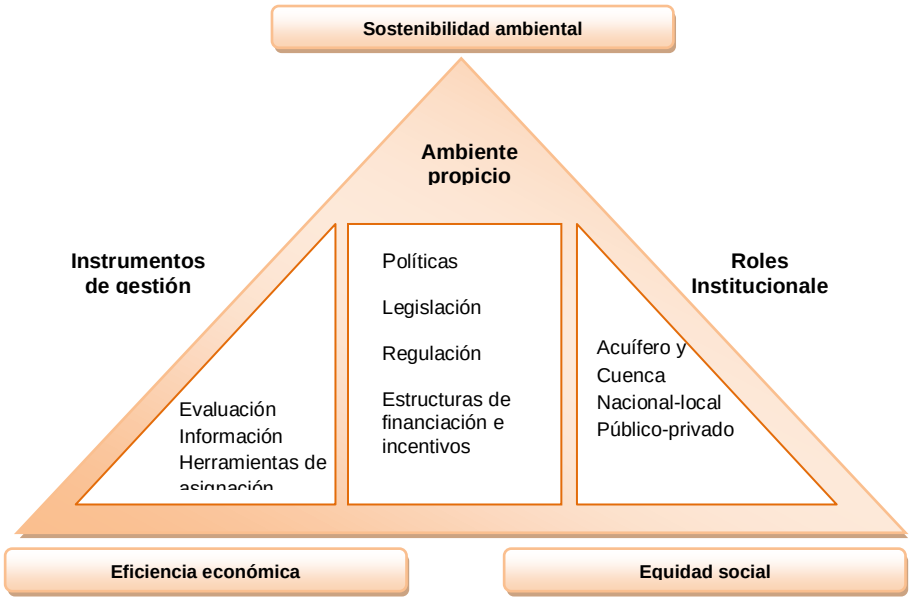
Para implementar la GIRH, las principales áreas de acción (Figura 1.1) son:

- Ambiente propicio –que incluya políticas, legislación y regulación, financiación y estructuras de incentivos
- Roles institucionales –que consideren modelos que tengan en cuenta los intereses del acuífero y de la cuenca hidrográfica, sean estos públicos o privados, nacionales o locales
- Instrumentos de gestión –entre los que se incluyen la evaluación de recursos, gestión de la información y herramientas para la asignación y protección de los recursos.

Estas tres áreas de acción son esenciales para implementar la GIRH y promover una reforma a nivel nacional en todas las etapas del sistema de gestión y planificación de los recursos hídricos. Generalmente, esto comienza con una nueva política hídrica que refleje los principios de la gestión sostenible de los recursos hídricos. Llevar la política a la práctica requiere reformar las leyes de aguas y las instituciones relacionadas. Este puede ser un largo proceso que debe incluir amplias consultas con los organismos afectados y con el público.

La implementación de la GIRH debe ser gradual, con algunos cambios que se producen inmediatamente y otros que requieren varios

Figura 1.1: Triángulo de implementación de la GIRH



Cuadro 1.1. Declaraciones y principios de Dublín

Principio N.° 1: el agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para la vida, el desarrollo y el ambiente.
Dado que el agua es indispensable para la vida la gestión eficaz de los recursos hídricos requiere un enfoque holístico que concilie el desarrollo económico y social y la protección de los ecosistemas naturales. La gestión eficaz establece una relación entre el uso del suelo y el agua en la totalidad de una cuenca hidrográfica o de un acuífero.

Principio N.° 2: el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos deben basarse en un enfoque participativo, que involucre a usuarios, planificadores y formuladores de políticas en todos los niveles.
El enfoque participativo implica que los responsables de las políticas y el público en general adquieran mayor conciencia de la importancia del agua. Significa que las decisiones se adopten en el nivel más bajo apropiado, con amplia consulta pública y la participación de los usuarios en la planificación e implementación de los proyectos de agua.

Principio N.° 3: las mujeres tienen un papel central en la provisión, la gestión y el cuidado del agua.
El rol fundamental de las mujeres como proveedoras y usuarias de agua y custodias del ambiente rara vez se ha visto reflejado en acuerdos institucionales para el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos. La aceptación e implementación de este principio requiere políticas positivas que contemplen las necesidades específicas de las mujeres, y que las preparen y empoderen para participar en todos los niveles de los programas de recursos hídricos, incluidas la toma de decisiones y la implementación, en las formas que ellas determinen.

Principio N.° 4: el agua tiene un valor económico en todos sus usos competitivos y debería ser reconocido como un bien económico. Aquí es vital reconocer primero el derecho básico de todos los seres humanos de tener acceso al agua limpia y al saneamiento a un precio accesible. En el pasado, ignorar el valor económico del agua condujo a su derroche y al deterioro del ambiente. Gestionar el agua como un bien económico es un modo importante de lograr objetivos sociales tales como el uso eficiente y equitativo, y de promover la conservación y protección de los recursos hídricos.

años de planificación y fortalecimiento de la capacidad institucional.

2.2 Áreas de cambio de la GIRH

La adopción de un enfoque más sostenible e integrado para la gestión y el desarrollo de los recursos hídricos requiere cambios en múltiples áreas y niveles. Si bien esto puede ser desalentador, es importante recordar que el cambio gradual generará resultados más sostenibles que un intento por reconstruir el sistema por completo y de una sola vez. Al comenzar el proceso de cambio, hay que tener en cuenta:

- ¿Qué cambios deben producirse para lograr los objetivos acordados?
- ¿Dónde es posible el cambio, dada la situación social, política y económica actual?
- ¿Cuál es la secuencia lógica para el cambio? ¿Qué cambios son necesarios en primer lugar para que otros cambios sean posibles?

Al considerar cómo se deben gestionar *los* recursos hídricos en el futuro, hay que identificar las distintas áreas pasibles de cambio entre las incluidas en la Caja de Herramientas de la GWP y enumeradas en el Cuadro 1.2.

2.3 Ambiente propicio

El ambiente propicio incluye las políticas, la legislación y los sistemas de financiación. Los procesos legislativos llevan un largo tiempo, por lo general varios años, y los cambios son complicados. A menudo la respuesta legislativa queda rezagada respecto de los cambios dinámicos que se dan en la situación de los recursos hídricos y en la sociedad en general.

Por lo general, las leyes y normativas asociadas que tienen impacto en los recursos hídricos se encuentran en diferentes sectores, y el derecho consuetudinario complica aún más las cosas. Las leyes y normas ambientales, las normas para la descarga de efluentes, las leyes y regulaciones para el suministro de agua, las normas para obras hidráulicas y perforación de pozos, están frecuentemente descoordinadas y elaboradas por diferentes organismos en momentos muy distintos. El objetivo general del proceso de reforma legal es garantizar que los propósitos clave de la política puedan concretarse con respaldo legal y que haya coherencia en las leyes y normas en todos los sectores que tengan un impacto en los recursos hídricos. Algunos de los objetivos clave para un ambiente propicio son:

¿Sobre cuáles de estos objetivos será más difícil llegar a un acuerdo en su país?

- Constituir al gobierno como "propietario" de todos los recursos hídricos y seleccionar un ministerio como autoridad de gestión y ente

Cuadro 1.2. Las trece áreas clave de cambio en la GIRH

AMBIENTE PROPICIO

1. Políticas: fijación de objetivos para el uso, la protección y la conservación del agua.
2. Marco legal: normas a implementar para desarrollar políticas y alcanzar objetivos.
3. Estructuras de financiación e incentivos: asignación de recursos financieros para satisfacer las necesidades de agua.

ROLES INSTITUCIONALES

4. Creación de un marco organizativo: formas y funciones.
5. Fortalecimiento de la capacidad institucional: desarrollo de recursos humanos.

INSTRUMENTOS DE GESTIÓN

6. Evaluación de los recursos hídricos: comprensión de los recursos y las necesidades.
7. Planes para la GIRH: combinación de opciones de desarrollo, uso de recursos e interacción humana.
8. Gestión de la demanda: uso más eficiente del agua.
9. Instrumentos de cambio social: promoción de una sociedad civil orientada al agua.
10. Resolución de conflictos: manejo de disputas, garantía de uso compartido del agua.
11. Instrumentos de regulación: asignación y límites al uso del agua.
12. Instrumentos económicos: utilización del valor y los precios para lograr eficiencia y equidad.
13. Gestión e intercambio de información: optimización del conocimiento para una mejor gestión de los recursos hídricos.

regulador de los recursos hídricos.

- Reconocer convenciones y acuerdos internacionales, incluidos protocolos para aguas transfronterizas, por ejemplo la convención sobre humedales y protocolos para aguas superficiales compartidas.
- Establecer mecanismos eficaces para la asignación del agua, incluido el soporte para la toma de decisiones para determinar prioridades; por ejemplo, el uso doméstico y los caudales ambientales en primer lugar.
- Establecer mecanismos para la gestión de la contaminación en armonía con las leyes y normas ambientales; por ejemplo, clasificación de los cuerpos de agua, estándares para descargas y monitoreo.
- Proporcionar las bases legales para una reforma institucional; por ejemplo, gestión por cuencas hidrográficas, comités de cuenca, el gobierno como habilitador, no como proveedor.

2.4 Roles institucionales

Las instituciones gubernamentales, los organismos públicos, las autoridades locales, el sector privado, las organizaciones y asociaciones de la sociedad civil brindan un marco institucional que idealmente debe apuntar a la implementación de las políticas y las disposiciones legales. Ya sea que se trate de fortalecer instituciones para la gestión de los recursos hídricos ya existentes o que se formen nuevas, el desafío será hacerlas efectivas y esto requiere el desarrollo de capacidades. La toma de conciencia, la participación y las consultas deberían servir para mejorar las habilidades y la comprensión de quienes toman las decisiones, de los administradores de recursos hídricos y de los profesionales en todos los sectores. Los objetivos clave para el marco institucional son:

¿Cómo deben participar los principales usuarios del agua en la toma de decisiones relacionadas con la gestión de los recursos hídricos?

- Separar las funciones de gestión de recursos hídricos de las funciones de prestación de servicios (riego, generación de energía hidroeléctrica, servicios de agua y alcantarillado) y consolidar al gobierno como propietario de los recursos hídricos –el habilitador, no el proveedor de los servicios. Esto evitará conflictos de interés y fomentará la autonomía comercial.
- Gestionar los recursos hídricos dentro de los límites de una cuenca hidrográfica, no según jurisdicciones administrativas, descentralizando las funciones reguladoras y de servicio al nivel más bajo que sea conveniente y promover la participación pública, incluyendo a los grupos de interés, en las decisiones de planificación y gestión.
- Asegurar un equilibrio entre el alcance y la complejidad de las funciones reguladoras y las habilidades y los recursos humanos requeridos para ocuparse de ellas. Es menester contar con un programa continuo de desarrollo de capacidades para adquirir y mantener las habilidades apropiadas.
- Facilitar, regular y fomentar los posibles aportes del sector privado a la financiación y prestación de servicios (riego, generación de energía hidroeléctrica, servicios de agua y alcantarillado).

2.5 Instrumentos de gestión

La legislación y las políticas establecen “las reglas de juego”**;** los roles institucionales definen quiénes son los “jugadores” y qué deben hacer, y los instrumentos de gestión son las “competencias y las habilidades de los jugadores” necesarias para jugar el juego. En función de los problemas de los recursos hídricos del país se decide qué instrumentos de gestión son los más importantes y dónde deben concentrarse los esfuerzos. Problemas como riesgos de inundaciones, escasez de agua, contaminación, agotamiento de acuíferos, conflictos aguas arriba/aguas abajo, erosión y sedimentación requieren una combinación especial de herramientas de gestión para abordarlos de forma efectiva. Los objetivos clave de los instrumentos de gestión son:

- establecer un servicio hidrológico e hidrogeológico adaptado a la situación de los recursos hídricos y sus problemas clave;
- desarrollar una base de conocimientos sobre los recursos hídricos derivada del monitoreo y la evaluación de dichos recursos complementada, si fuera necesario, con su modelación**;** permitir

que las partes más relevantes de estos conocimientos estén a disposición del público para la construcción de conciencia;

- establecer mecanismos de asignación de recursos hídricos, un sistema de permisos de extracción y de descarga de aguas residuales y las respectivas bases de datos;
- establecer políticas y planificar el desarrollo de habilidades en evaluación de riesgos y en evaluación económica, ambiental y social;
- establecer competencias en gestión de la demanda, incluido el uso de herramientas económicas; y
- promover el desarrollo de recursos humanos y la adquisición de capacidades especializadas en recursos hídricos y asuntos institucionales.

Ya tenemos muchos instrumentos de gestión que no funcionan, ¿por qué esta vez ha de ser diferente?

3. Recursos hídricos subterráneos

Las aguas subterráneas son un componente importante de toda el agua dulce del planeta (Figura 1.2). Representan el 29,9% de los recursos de agua dulce de la tierra y el 99% del "agua azul". Sin embargo, únicamente las aguas almacenadas los espacios porosos o fracturas interconectados son accesibles para el uso.

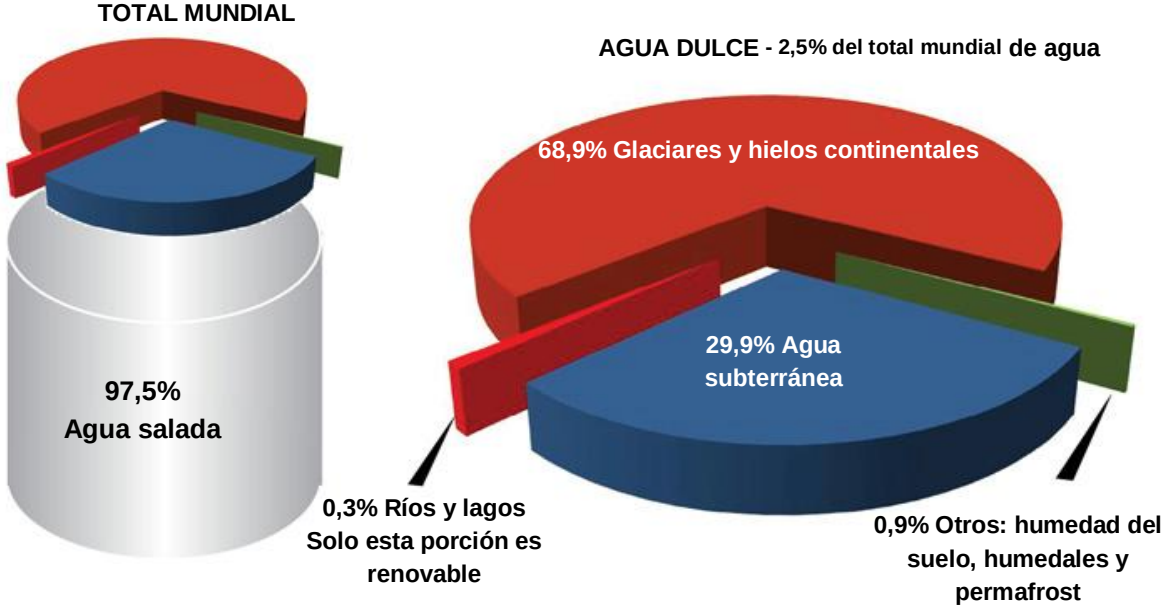
El agua subterránea suele reaccionar más lentamente que el agua superficial; por lo general, los procesos llevan más tiempo y, en consecuencia, su recarga y remediación demoran mucho más. En la Tabla 1.1 se resumen las principales diferencias entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas que influyen en su gestión.

4. Gestión de aguas subterráneas

Las aguas subterráneas y las aguas superficiales están estrechamente interconectadas y, desde un enfoque de GIRH, ambas deberían gestionarse como un solo recurso. La gestión de las aguas subterráneas tiene por principal objetivo el desarrollo sostenible del recurso para diferentes usos. Un asunto clave para la sostenibilidad de las aguas subterráneas es el equilibrio entre los recursos disponibles y las crecientes demandas de agua. A tal efecto, los siguientes objetivos son fundamentales:

a. equilibrar la recarga de aguas subterráneas y la extracción (Figura 1.3).
b. proteger las aguas subterráneas de la contaminación.

Figura 1.2: Distribución del agua en el planeta



5. ¿Por qué un enfoque integrado para la gestión de las aguas subterráneas?

Es imposible alcanzar el desarrollo sostenible de los recursos hídricos abordando únicamente la gestión de los recursos hídricos superficiales: hay que incluir a las aguas subterráneas. Se necesita un nuevo enfoque guiado por los principios y las metas de la GIRH para lograr la gobernabilidad y la gestión de las aguas subterráneas. El paradigma de cambio de la GIRH trata los siguientes puntos clave:

La gestión de los recursos hídricos a nivel de cuenca requiere que se tengan en cuenta tanto las aguas superficiales como las subterráneas porque:

- la recarga de las aguas subterráneas es afectada por el uso de las aguas superficiales;
- los recursos superficiales aguas abajo pueden incluir un aporte significativo del flujo base de agua subterránea,

Tabla 1.1: Características distintivas de las aguas subterráneas y superficiales

Característica	Recursos hídricos subterráneos y acuíferos	Recursos hídricos superficiales y embalses
Características hidrológicas		
Almacenamiento	Muy grande	Pequeño a moderado
Áreas de recursos	Relativamente ilimitadas	Limitadas a los cuerpos de agua
Velocidad del flujo	Muy lenta	Moderada a alta
Tiempo de residencia	Generalmente décadas/siglos	Generalmente semanas/meses
Vulnerabilidad a sequías	Generalmente baja	Generalmente alta
Pérdidas por evaporación	Bajas y localizadas	Altas en embalses
Evaluación de recursos	Alto costo e incertidumbre significativa	Costo más bajo y usualmente menor incertidumbre
Impactos por extracción	Diferidos y dispersos	Inmediatos
Calidad natural	Generalmente (no siempre) alta	Variables
Vulnerabilidad a la contaminación	Protección natural variable	Mayormente desprotegidos
Contaminación persistente	A menudo extrema	Mayormente temporal
Factores socioeconómicos		
Percepción pública	Mítica, impredecible	Estética, predecible
Costo de explotación	Generalmente módico	Generalmente alto
Riesgo de explotación	Menor que el usualmente percibido	Mayor que el usualmente supuesto
Estilo de explotación	Conjunta pública y privada	Mayormente pública

especialmente durante los períodos de bajo caudal;
- las aguas subterráneas son más confiables que las superficiales en épocas de sequía;
- la contaminación del agua subterránea puede persistir por siglos, lo cual reduciría su disponibilidad para las generaciones futuras.

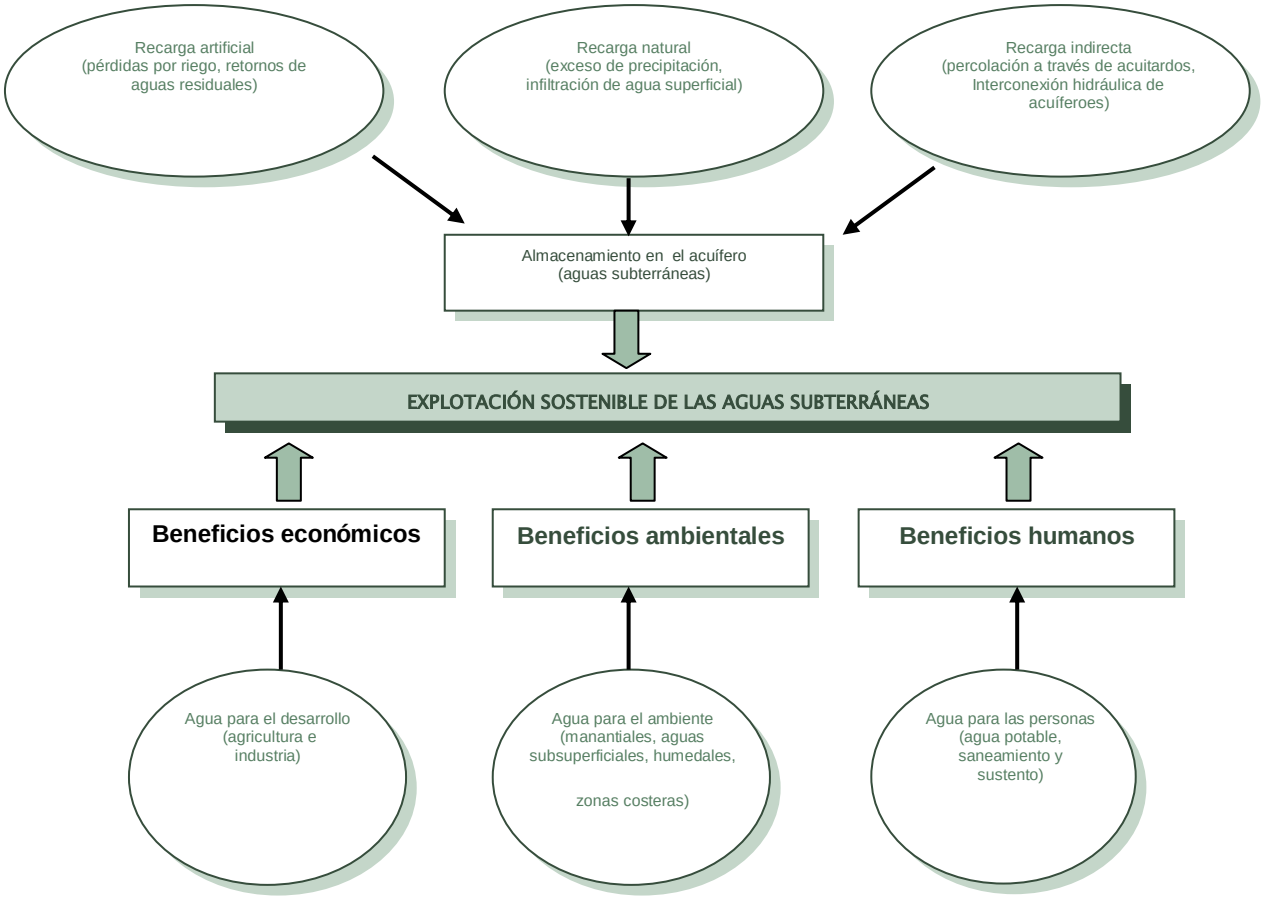
El enfoque para la gestión de las aguas subterráneas que se adopte dependerá, en gran medida, de la información que se posea sobre los siguientes factores y de la interacción entre ellos:
- dimensiones y complejidad hidrogeológica
- grado de aridez climática y tasa de recarga del acuífero y renovación del recurso;
- escala de la extracción de agua subterránea y cantidad y tipos de usuarios;
- rol ecológico y servicios ambientales que dependen del agua subterránea;
- susceptibilidad y vulnerabilidad del sistema acuífero a la degradación;
- calidad natural del agua subterránea (amenaza de elementos traza y presencia de agua salina);
- otros recursos hídricos disponibles.

Los Principios de Dublín (Cuadro 1.1) no solo son aplicables a las aguas superficiales**:** la gestión de las aguas subterráneas debe tener en cuenta los fundamentos que sustentan la adopción del enfoque de la GIRH y que reconocen lo siguiente:
- El agua es un recurso finito y vulnerable.
- El agua es un bien económico.
- Las mujeres juegan un papel central en la gestión de los recursos hídricos.
- El desarrollo y la gestión de los recursos hídricos deben basarse en un enfoque participativo.

Referencias y **lecturas** en la web

Cap-Net, 2005, Manual de planes de la GIRH. http://www.cap-net.org/node/1515
Cap-Net, 2008, GIRH para organizaciones de cuenca hidrográfica: manual de capacitación, http://www.cap-net.org/node/1494
GWP, 2004, Catalyzing Change: A handbook for developing integrated water resources management (IWRM) and water efficiency strategies. ISBN: 91-974559-9-7.

Figura 1.3: Desarrollo sostenible de las aguas subterráneas, modificado de Hiscock, 2002.



www.gwpforum.org/gwp/library/Catalyzing_change-final.pdf
GW•MATE, 2002-2006, Notas informativas 1 y 15. http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,contentMDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:4602123,00.html
Caja de herramientas de la GWP C2.03, Planes de gestión de las aguas subterráneas. http://www.gwptoolbox.org/index.php?option=com_tool&id=30
Hiscock, K. M., Rivett, M. O. y Davison, R.M. 2002. Sustainable groundwater development. Geological Society, London, Special Publications, 193, 1-14. 0305-8719/02/$15,00. Sociedad Geológica de Londres 2002.

Ejercicio:

Dos grupos:

Grupo 1: Discutir de qué manera se pueden aplicar los Principios de Dublín a la gestión de las aguas subterráneas.

Grupo 2: Leer las recomendaciones de la siguiente tabla. Para cada situación describir cómo implementar la gestión de aguas superficiales y subterráneas.

Casos que ilustran ambientes hidrogeológicos específicos que requieren un enfoque diferente

Ambiente hidrogeológico	Característica principal	Recomendación
Acuíferos importantes cuya extensión es menor que la cuenca hidrogeológica.	Las unidades acuíferas o los cuerpos de agua subterránea específicos requieren planes independientes de gestión local.	Los planes deben tener en cuenta que la recarga del acuífero puede depender del caudal del río aguas arriba y que el caudal del río aguas abajo puede depender de la descarga del acuífero.
Cuencas hidrográficas bajo las cuales subyacen extensos acuíferos Cuaternarios de poca profundidad	La relaciones entre aguas superficiales y subterráneas (y su gestión) son fundamentales para evitar problemas como el movimiento de sales por desmonte, anegamiento de suelos y salinización ocasionados por la agricultura bajo riego.	Es esencial una gestión y una planificación de los recursos hídricos completamente integrada.
Extensos sistemas de acuíferos profundos en regiones más áridas	Predomina el sistema de flujo subterráneo; hay poca agua superficial permanente.	No es conveniente crear “un organismo de cuenca”; es más acertado elaborar un plan de gestión de los recursos hídricos subterráneos para manejarlos a nivel de acuífero.
Prevalencia de acuíferos menores	Caracterizados por poca profundidad, distribución desigual y bajo potencial (por ejemplo, muchas partes del escudo continental del África subsahariana); tienen una interacción limitada con la cuenca hidrográfica suprayacente.	La capacidad de almacenamiento no es suficiente para justificar la planificación y la administración integral de las aguas subterráneas. Por su importancia social en el suministro de agua rural, es importante optimizar el diseño de los pozos de agua a fin de maximizar su rendimiento y la seguridad en caso de sequía, e identificar las restricciones impuestas por cualquier posible problema natural de calidad del agua subterránea.

Módulo 2: Caracterización de los sistemas de acuíferos para la gestión de las aguas subterráneas

Objetivos de aprendizaje:

- Comprender las propiedades clave de los acuíferos para una mejor gestión de las aguas subterráneas.
- Comprender los principales ambientes hidrogeológicos y la ocurrencia de las aguas subterráneas, y sus implicancias en la explotación
- Advertir la importancia de la caracterización de acuíferos en la gestión de las aguas subterráneas.

1. Introducción

El agua subterránea difiere del agua superficial como resultado de los diferentes ambientes físicos y químicos en las cuales éstas ocurren. Entre los acuíferos, existen enormes diferencias con respecto a los contextos geológicos en los que se producen, lo que afecta su capacidad de almacenar y trasmitir agua. Además, las diferentes formaciones geológicas varían ampliamente sus propiedades en su extensión espacial y también su estructura geológica. Por lo tanto, la disponibilidad de las aguas subterráneas dependerá del ambiente hidrogeológico, que puede presentar una diversidad hidrogeológica significativa.

Por consiguiente, la gestión de las aguas subterráneas tiene que basarse en una buena comprensión de las características del acuífero considerándolo a este como un sistema. Esta comprensión requiere buenos datos obtenidos a partir de investigación, monitoreo e interpretación.

2. Ocurrencia de las aguas subterráneas

¿Cuáles son las principales funciones de los acuíferos?

Las aguas subterráneas se hallan en la mayoría de las formaciones geológicas porque casi todas las rocas de cualquier tipo, origen o edad poseen orificios denominados poros o fracturas, según corresponda. En investigaciones hidrogeológicas se hace referencia a unidades hidrogeológicas o al sistema hidrológico. Según sea la escala del estudio, se pueden identificar:

- Cuencas hidrogeológicas que correspondan aproximadamente a la cuenca topográfica o de drenaje.
- Cuencas de aguas subterráneas que sean parte de la cuenca hidrológica
- Acuíferos o unidades hidrogeológicas que contienen aguas subterráneas; uno o más acuíferos pueden constituir una cuenca hidrogeológica.

Por definición, un acuífero es una formación geológica, un grupo de formaciones o parte de una formación que contiene material permeable suficientemente saturado como para producir cantidades significativas de agua para pozos y manantiales. Los acuíferos a menudo se combinan en sistemas de acuíferos.

Un acuífero, como unidad hidrogeológica, está compuesto por dos partes principales que interactúan: el continente que comprende una o muchas formaciones hidrogeológicas y el contenido, es decir el agua subterránea.
El continente tiene tres propiedades importantes:

- Capacidad de almacenamiento expresada por el coeficiente de almacenamiento o rendimiento específico.
- Capacidad de transferencia por gravedad o presión, expresada como transmisividad.
- Interacción física y química entre la roca y el agua subterránea.

Según los tipos de roca y los ambientes hidrogeológicos, un acuífero puede cumplir una o más de estas funciones. Por ejemplo, un acuífero junto al río tiene una función predominante de transferencia, mientras que un acuífero profundo confinado presenta principalmente capacidad de almacenamiento, y un acuífero sin límites puede desempeñar ambos roles. La función de intercambio está relacionada con la duración de tiempo en que interactúan la roca y el agua, la longitud de la trayectoria del escurrimiento y el tipo de materiales.

El Cuadro 2.1 brinda definiciones de conceptos básicos útiles para una mejor comprensión de los tipos de acuíferos.

Cuadro 2.1: Definiciones y conceptos básicos

Un **acuífero** es una formación geológica (un estrato o un grupo de estratos) capaz de producir y almacenar una cantidad significativa de agua. Esta función depende de la naturaleza de la roca portadora de agua. Los buenos acuíferos son aquellos de alta permeabilidad como arenas, gravas y areniscas o rocas muy fracturadas, que pueden ser excelentes fuentes de agua para consumo humano.

Se denomina **acuicludo** a una formación geológica que puede almacenar pero no transmitir una cantidad significativa de agua. Puede ser el caso de arcillas arenosas y de algunas rocas consolidadas (lutitas, arcillas consolidadas o rocas cristalinas), donde las fracturas no se conectan entre sí.

Un **acuitardo** es una formación geológica de baja permeabilidad; es decir que, en comparación con un acuífero, transmite pocas cantidades de agua. La transferencia es principalmente vertical, de un acuífero a otro. Por ejemplo, las arcillas arenosas pueden clasificarse como acuitardos.

Es posible distinguir dos tipos principales de acuíferos:

- No confinados o libres, también denominados acuíferos freáticos, cuya superficie o límite superior se encuentra a presión atmosférica.
- Confinados (a presión) rodeados por capas impermeables o semipermeables; en condiciones de confinamiento, el agua puede encontrarse a presión y, cuando se perfora un pozo, el agua asciende por encima del techo del acuífero, o incluso por encima de la superficie del suelo (pozo artesiano).

Fuente: Batu, 1998

¿Cuáles son las formaciones hidrogeológicas más comunes?

La disponibilidad de las aguas subterráneas depende principalmente del contexto geológico en que se encuentran. Los elementos más significativos de la diversidad hidrogeológica son:

- Importante variación de la capacidad de almacenamiento del acuífero, entre sedimentos granulares no consolidados y rocas fracturadas altamente consolidadas.
- Gran variación en el espesor saturado del acuífero entre diferentes tipos de depósito, lo que genera una amplia variedad de potencial del flujo de agua subterránea (transmisividad).

Los acuíferos de material sedimentario no consolidado están compuestos principalmente por materiales sueltos: arena, gravas, clastos aluviales, arena arcillosa, arcilla arenosa y arcilla. Constituyen un medio poroso y continuo. El agua subterránea es almacenada y movilizada a través de los espacios porosos, no de las fracturas. Poseen una capacidad de almacenamiento de grande a muy grande y, por lo general, una enorme extensión regional.

¿Qué tipo de acuífero es el más explotado en su país?

Las rocas compactas y fracturadas o las formaciones consolidadas tienen oquedades –principalmente fracturas–; que dan lugar a un medio discontinuo. En general, se pueden identificar dos tipos principales de formaciones:

- Rocas carbonatadas, como las calizas, que son ligeramente solubilizadas por el agua de lluvia, por lo cual las fracturas pueden agrandarse hasta formar *karsts* (canales de disolución).
- Antiguas rocas cristalinas y metamórficas que pueden estar muy fracturadas; también pueden descomponerse en su parte superior y

formar un manto poroso y permeable de materiales desgastados y erosionados que puede llegar a tener decenas de metros de espesor.

La diversidad hidrogeológica puede resumirse en dos elementos clave que caracterizan a la mayoría de los tipos de acuíferos: capacidad de almacenamiento de agua subterránea y escala (longitud y tiempo de viaje) de sus trayectorias de flujo (Figura 2.1).

Las cuencas sedimentarias contienen grandes volúmenes de agua subterránea y hay dos tipos de ambientes hidrogeológicos en particular que constituyen excelentes acuíferos:

- Importantes cuencas aluviales y costeras
- Rocas sedimentarias consolidadas como las areniscas y calizas.

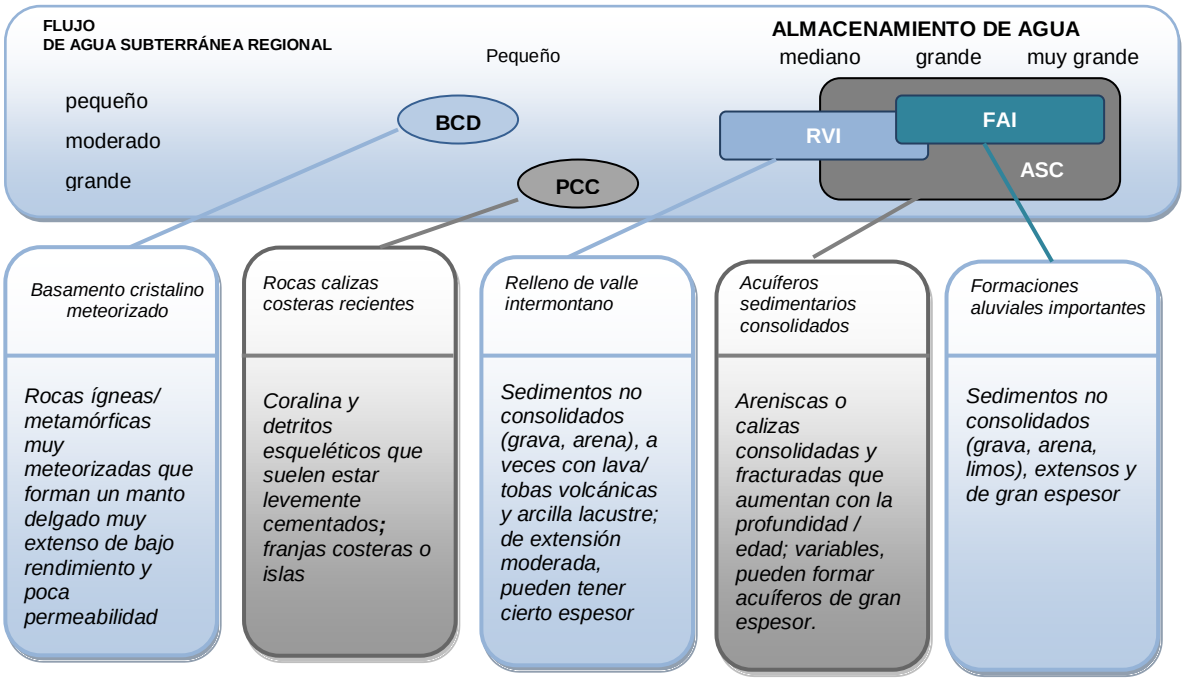
Este tipo de acuíferos tiene una amplia distribución espacial y un gran espesor, lo que garantiza una gran capacidad de almacenamiento de agua subterránea y flujo regional. También constituyen importantes acuíferos transfronterizos.

¿Cuáles son las principales diferencias entre acuíferos grandes y pequeños?

Los acuíferos pequeños tienen un rendimiento limitado y menos previsible (Figura 2.2). Estos acuíferos incluyen rocas de basamento meteorizadas (cristalinas, metamórficas y metasedimentos) y otros acuíferos locales (depósitos Cuaternarios notablemente delgados y rocas volcánicas o sedimentarias consolidadas más antiguas). Si están ubicados junto a ríos o arroyos, a veces también permiten el desarrollo de suministros a través de galerías filtrantes.

Donde hay pueblos y pequeñas ciudades sobre grandes acuíferos de agua subterránea de alta calidad natural, el suministro de agua no suele tener restricciones significativas en términos de acceso al agua y de su sostenibilidad, a menos que esos mismos acuíferos sean utilizados intensivamente para el riego agrícola. Los principales temas a considerar se limitan a la operación y al mantenimiento de los pozos de agua, lo cual puede perjudicar seriamente la confiabilidad y la sostenibilidad de las fuentes de agua subterránea.

Figura 2.1: Resumen de las propiedades claves de los tipos de acuíferos más comunes. (Nota informativa 2 de GW-Mate)



En territorios donde solo hay acuíferos pequeños, la principal preocupación es la disponibilidad de agua subterránea de cantidad adecuada y calidad aceptable, aunque pueden surgir problemas de confiabilidad del suministro y sostenibilidad del recurso. Estos acuíferos generalmente constituyen la única posibilidad de contar con suministros de agua de bajo costo, confiables durante sequías y de calidad aceptable en áreas rurales muy extensas, especialmente en el África subsahariana y también en partes de Asia y Latinoamérica.

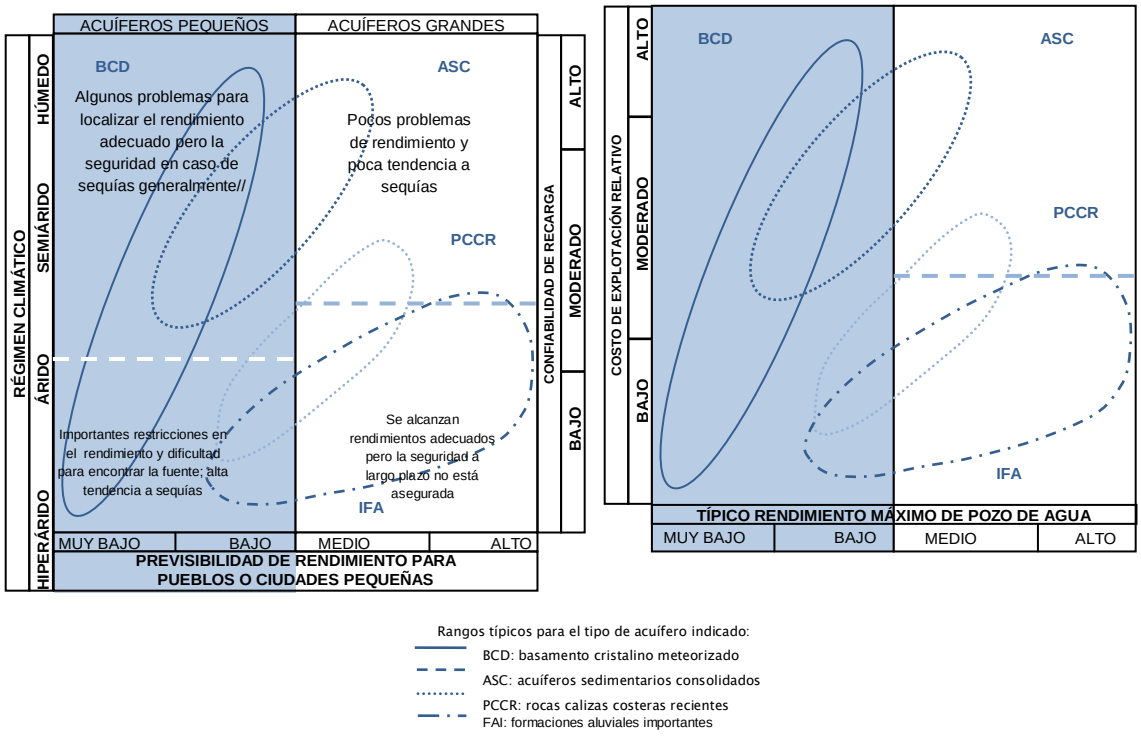
Proporcione un ejemplo de la manera en que su comunidad maneja los acuíferos de bajo rendimiento.

¿Cómo fluye el agua subterránea?

La vasta capacidad de almacenamiento de muchos sistemas de agua subterránea (superior a la de los más grandes embalses construidos por el hombre) es su característica más distintiva. En consecuencia, la mayor parte de las aguas subterráneas se encuentra en continuo pero lento movimiento (Figura 2.3) desde las zonas de recarga natural de los acuíferos (por precipitaciones que exceden los requerimientos de agua de la vegetación) hacia las zonas de descarga de los acuíferos (manantiales, descargas en cursos de agua, humedales y zonas costeras). El movimiento del agua subterránea a través de un acuífero se rige por la ley de Darcy (Cuadro 2.2).

Si un acuífero se encuentra debajo de estratos mucho menos permeables, el agua queda confinada en mayor o menor grado por los

Figura 2.2: Variación de la previsibilidad del rendimiento y seguridad en caso de sequías de los pozos de agua según tipo de acuífero y régimen climático (Nota Informativa 13 de GW-Mate)



3. Movimiento del agua subterránea

Las aguas subterráneas están en constante movimiento, aunque la velocidad a la que se mueven suele ser mucho menor que la de las aguas superficiales.

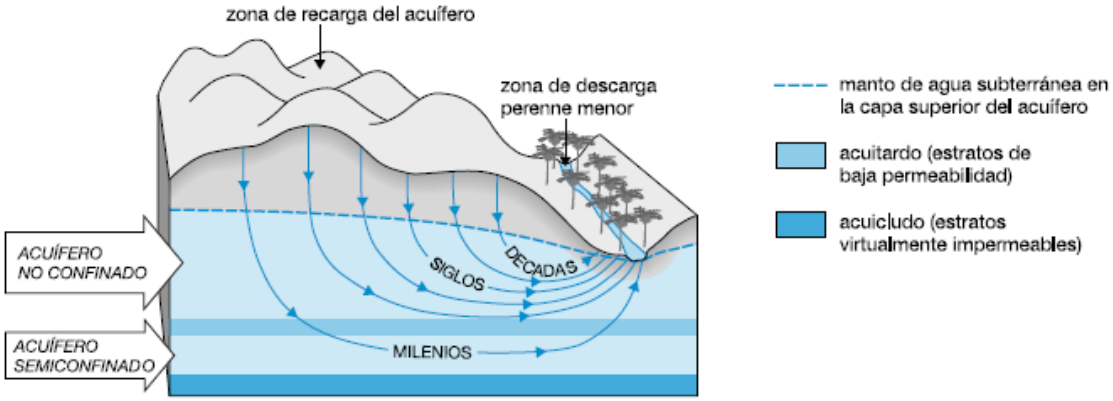
estratos suprayacentes. Esto ocasiona un grado equivalente de aislamiento del acuífero respecto de la porción de territorio inmediatamente suprayacente pero no del sistema de agua subterránea en su totalidad. El descenso del nivel del agua inducido por el bombeo en la sección confinada de un acuífero suele extenderse rápidamente a la parte no confinada del mismo. En diversos ambientes hidrogeológicos es posible que se

superpongan acuíferos libres poco profundos y acuíferos confinados profundos (Figura 2.3) con pérdidas o filtración vertical descendente o ascendente entre las capas según sean las condiciones locales.

variables en regímenes de descarga natural más estables. También genera tiempos de residencia del agua subterránea que, por lo general, se computan en décadas o siglos o hasta en milenios (Figura 2.3), con grandes volúmenes de la denominada "agua subterránea fósil", vestigio de episodios pasados de diferentes climas. El Cuadro 2.3 incluye algunos impactos del tiempo de residencia en términos de confiabilidad y carga química del agua.

Cuadro 2.2: Ley de Darcy
La ley de Darcy expresa la velocidad a la que el agua subterránea se mueve en la zona saturada, lo cual depende de la conductividad hidráulica del material geológico y del gradiente hidráulico.

Figura 2.3: Régimen típico del movimiento del agua subterránea y tiempos de residencia en regiones semiáridas (según Foster y Hirata, 1988)



El almacenamiento en el acuífero transforma regímenes de recarga natural altamente

Cuadro 2.3: Impactos del tiempo de residencia del agua subterránea

- El agua subterránea es una fuente confiable en períodos de sequía o escasez.
- Los acuíferos almacenan un gran volumen de agua disponible en el largo plazo.
- Hay interacciones con materiales geológicos que aportan al agua subterránea elementos químicos específicos.
- En acuíferos no confinados, por lo general de poca profundidad, el tiempo de residencia es más breve, lo que puede dar lugar a bajas concentraciones químicas en el agua.
- El tiempo de residencia en acuíferos confinados suele ser prolongado, lo que resulta en

¿Por qué importa estimar la recarga?

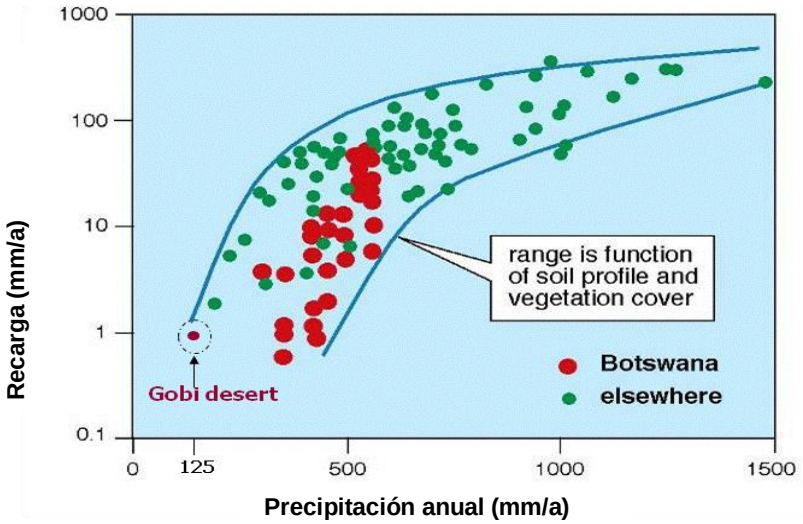
Conocer la tasa actual de recarga de los acuíferos es fundamental para determinar la sostenibilidad de la explotación de las aguas subterráneas. Además, comprender los mecanismos de recarga de los acuíferos y su relación con el uso de la tierra es esencial para la gestión integrada de los recursos hídricos.

Sin embargo, la cuantificación de la recarga natural (Figura 2.4) se enfrenta a dificultades metodológicas significativas, deficiencias en los datos e incertidumbres debido a los siguientes factores:

- amplia variabilidad espacial y temporal de precipitaciones y escurrimientos

- variación lateral generalizada en perfiles de suelo; y
- condiciones hidrogeológicas.

Figure 2.4: Estimación de la tasa de recarga vs precipitación anual (comunicación personal. A. Tuinhof)



No obstante, a efectos prácticos, es suficiente realizar cálculos aproximados (Figura 2.4) y afinarlos más tarde sobre la base del monitoreo y del análisis de la respuesta del acuífero a la extracción en el mediano plazo.

Se puede realizar una cantidad de observaciones genéricas sobre los procesos de recarga de los acuíferos:

- Las áreas de creciente aridez tendrán una tasa y una frecuencia de recarga mucho más bajas hacia el nivel freático.
- La recarga indirecta por escurrimiento superficial y la recarga artificial incidental por actividades humanas están adquiriendo cada vez más importancia que la recarga directa por precipitación.

Proporcione otros ejemplos de tasas de recarga afectadas por actividades humanas.

Las tasas de recarga varían con:

- Derivaciones y controles que se apliquen al escurrimiento en los cursos de agua superficiales.
- Modificaciones en el riego con agua superficial.
- Cambios en la vegetación natural o en el tipo de cultivo en las zonas de recarga.
- Pérdidas en las redes urbanas de suministro de agua y percolación in situ de aguas residuales.
- Descenso del nivel freático, etc.

El rango es función del perfil del suelo y de la cobertura

En a puede producirse un flujo más rápido hacia el nivel freático, especialmente después de precipitaciones copiosas. Este componente del flujo puede acarrear contaminantes de la superficie del suelo muy rápidamente, lo que permite poco o nada de tiempo de atenuación, por lo cual dichos acuíferos pueden ser altamente vulnerables. En zonas áridas y semiáridas, en la mayoría de los casos las tasas de recarga de los acuíferos son bajas. Su cálculo por métodos clásicos es problemático; probablemente sean más eficientes las técnicas isotópicas.

¿Es necesario conocer la descarga?

El agua se incorpora constantemente al sistema por la recarga debida a las precipitaciones y, al mismo tiempo, abandona el sistema de aguas subterráneas como

descarga hacia las aguas superficiales y como evapotranspiración. En escalas de tiempo relativamente cortas (días a meses), los flujos de entrada y salida pueden fluctuar significativamente, pero en escalas de tiempo más prolongadas (años a décadas) el sistema de agua subterránea debería estar en equilibrio. Esto significa que, si se lo promedia para un período más prolongado, el volumen del agua que ingresa al sistema (recarga) debería ser aproximadamente igual al volumen que sale del sistema (descarga).

El agua subterránea puede descargar en manantiales, humedales o cuerpos de agua superficial –arroyos, lagos, ríos, mares, etc.– haciendo un importante aporte a los caudales de muchos de ellos. Es por esto que tiene una fuerte influencia en hábitats asociados a ríos y humedales. Es posible que los acuíferos también reciban agua de cuerpos de agua superficial, de modo que su interacción es un tema fundamental en la gestión de las aguas subterráneas. El diagnóstico de la relación entre el agua superficial y el acuífero subyacente es un importante componente de la caracterización de sistemas de agua subterránea.

Es importante distinguir entre:

- Ríos y corrientes de los que un acuífero depende para su recarga general y
- Ríos que a su vez dependen significativamente de la descarga del acuífero para mantener su caudal en períodos de estiaje.

Debe destacarse que, en algunos casos y por temporada, los ríos pueden fluctuar entre las dos condiciones mencionadas.

El bombeo de agua subterránea para diferentes usos afecta las entradas y salidas de agua del sistema. El sistema de agua subterránea se ajustará gradualmente a un nuevo equilibrio con niveles modificados (niveles piezométricos) de agua subterránea y diferentes descargas en sus límites interno y externo. Siempre y cuando estos cambios sean relativamente pequeños, sus impactos en el ambiente y en los usos establecidos del agua subterránea son generalmente aceptables. Sin embargo, si los cambios son tan grandes que los niveles del agua subterránea y las características del flujo sufren alteraciones sustanciales, las consecuencias pueden ser inaceptables. La sostenibilidad de las aguas subterráneas requiere una mejor comprensión de la relación y de la importancia de la cantidad y calidad del agua subterránea para el mantenimiento de los cursos de agua superficial y hábitats de vida silvestre.

¿Por qué es necesario un balance hídrico?

Cada sistema de agua subterránea es único porque el origen y la cantidad de agua que fluye a través de él dependen de factores externos como son la tasa de precipitación, la ubicación de las corrientes y otros cuerpos de agua superficial y la tasa de evapotranspiración. Sin embargo, el único factor común de todos los sistemas de agua subterránea es que la cantidad total de agua que entra, sale y se almacena en el sistema se encuentra en equilibrio. El registro de todos los flujos de entrada, de salida y los cambios que ocurran en el almacenamiento se denomina balance hídrico.

Las extracciones de agua subterránea (en un sentido amplio) modifican los patrones del flujo natural por lo que estos cambios deben ser tenidos en cuenta al calcular el balance hídrico. Como toda el agua que se utiliza proviene de algún lado, las actividades humanas afectan la cantidad y la tasa de movimiento del agua en el sistema así como la cantidad que ingresa y que sale del mismo. Para una gestión sostenible de las aguas subterráneas se debe establecer el balance hídrico de una determinada unidad del sistema (cuenca hidrográfica, cuenca hidrogeológica o acuífero) en un período dado. Siempre que sea posible, se debe realizar el balance hídrico para el sistema del acuífero como una unidad hidrológica, teniendo en cuenta que es parte integrante de toda la cuenca hidrográfica o hidrogeológica.

Si el equilibrio se ve perturbado por una mayor extracción de agua subterránea, el sistema gradualmente buscará un nuevo equilibrio. Esto requiere:

- Incrementar los flujos de entrada (por ejemplo por recarga artificial)
- Reducir los flujos de salida en algunas partes del sistema
- O una combinación de ambos.

Probablemente el nuevo equilibrio de flujo esté acompañado de cambios en los

niveles/presiones del agua subterránea al menos en partes del sistema. Comprender el balance hídrico y cómo varía en respuesta a las actividades humanas es un aspecto importante de la caracterización del sistema de agua subterránea.

El balance hídrico es un medio para probar, confirmar o refinar nuestra comprensión del sistema hidrológico. Sin embargo, no puede proporcionar una determinación y predicción definitivas de las consecuencias de los impactos de la extracción de agua subterránea. La modelación matemática hidrogeológica puede ser una herramienta útil para mejorar nuestra comprensión del sistema.

4. Problemas naturales que afectan la calidad del agua subterránea

¿Cuáles son las amenazas naturales a la calidad del agua?

El agua subterránea se mineraliza debido a la interacción agua-roca que produce la disolución de ciertos minerales y elementos químicos que permanecen en solución en el agua subterránea. El grado de disolución depende del tiempo de contacto del agua con la roca, la longitud de las trayectorias de flujo en el ambiente subterráneo [a través de la roca, la solubilidad de los materiales rocosos y del grado de dilución del agua de recarga. Toda el agua subterránea se mineraliza en mayor o menor grado y, en ciertas circunstancias y ambientes, algunos de estos solutos naturales pueden ser tóxicos. Ciertos elementos naturalmente presentes (As, F, Mn) plantean problemas conocidos en las aguas subterráneas. Otros elementos (especialmente Ni, U y Al) generan una creciente preocupación.

A los efectos de la gestión es importante distinguir los impactos debidos a la actividad humana de los problemas naturales que afectan la calidad del agua subterránea.

En los países subdesarrollados, las enfermedades patógenas transmitidas por el agua (origen fecal) continúan siendo el mayor problema de calidad del agua. No obstante, también hay problemas por la presencia natural de elevadas concentraciones de ciertos elementos traza en algunos suministros de aguas subterráneas.

Origen y existencia de amenazas naturales a la calidad del agua

Las reacciones entre el agua de lluvia y el perfil del suelo/roca durante su infiltración y percolación proporcionan al agua subterránea su composición mineral básica. Nueve componentes químicos importantes (Na, Ca, Mg, K, HCO_3, Cl, SO_4, NO_3 y Si) conforman el 99% del contenido de solutos del agua subterránea natural. En las zonas de recarga en regiones húmedas el agua subterránea probablemente sea de baja mineralización general en comparación con la de regiones áridas o semiáridas, donde la combinación de concentración por evaporación y movimiento más lento del agua subterránea puede dar lugar a concentraciones más elevadas.

A continuación se enumeran algunos de los elementos inorgánicos tóxicos comunes que están presentes naturalmente (Tabla 2.1):

- El arsénico (As) es el elemento traza que más preocupa actualmente ya que es tóxico y cancerígeno en bajas concentraciones.
- El flúor (F) es un elemento que a veces es deficiente, pero en concentraciones excesivas puede ser un problema, en especial en climas áridos y en presencia de rocas graníticas y volcánicas.
- El manganeso (Mn) en estado soluble es frecuente en condiciones de reducción del agua subterránea y le imparte un sabor inaceptable.

Tabla 2.1: Resumen de los principales elementos traza en las aguas subterráneas que suelen constituir una amenaza para la salud (Nota Informativa 14 de GW-Mate)

ELEMENTO TRAZA	NIVEL GUIA OMS – AGUA POTABLE	IMPORTANCIA PARA LA SALUD Y RESTRICCIÓN DEL USO	MONITOREO HIDROQUÍMICO DE SU PRESENCIA	ESTADO DEL TRATAMIENTO DEL AGUA
Arsénico (As)	10 µg/l	Amenaza tóxico/cancerígeno, especialmente porque generalmente se encuentra en forma inorgánica (arsenito o arseniato); recientemente se redujo el valor guía de la OMS de 50 µg/l	Desorción de óxidos de hierro en condiciones hidrogeoquímicas inusuales (altamente anóxicas) o durante la oxidación de minerales de sulfuro en condiciones hidroquímicas ácidas.	La oxidación y sedimentación (sin necesidad de aditivos químicos) tienden a ser poco confiables, pero las que incluyen coagulación, coprecipitación o adsorción son más prometedoras Fluoruro
Flúor (F)	1500 µg/l (1,5 mg/l)	Elemento esencial, preferentemente dentro de un rango estrecho**:** por debajo de 500 µg/l puede producir caries dentales; por encima de 2000 y 5000 µg/l puede producir fluorosis dental y esquelética graves	Disolución de minerales de formaciones graníticas o volcánicas que contienen fluoruro bajo ciertas condiciones hidroquímicas / hidrotermales facilitadas por la circulación lenta.	Precipitación con yeso o mezcla de cal/alumbre y filtración, o uso de resina de intercambio iónico (carbón activado, alúmina)
Manganeso (Mn)	(100) µg/l 500 µg/l	Elemento esencial pero en niveles excesivos puede afectar las funciones neurológicas**;** también mancha ropa/ utensilios y a niveles más bajos imparte un sabor metálico –por eso la pauta doble de la OMS	Elemento sólido abundante en suelos/rocas; en condiciones aerobias, la forma altamente insoluble es estable pero se solubiliza en condiciones progresivamente más anaerobias y/o ácidas.	Precipitación por aeración y filtración generalmente con decantación previa, pero con menor dificultad operativa que la usual para el hierro soluble

③ La OMS enumera otros elementos traza como potencialmente peligrosos en el agua potable (especialmente Ni, U y Al).

Estrategia para minimizar los impactos negativos

Si se descubren excesivos elementos traza tóxicos en un suministro de agua potable subterránea, se debe implementar un plan de emergencia e identificar una estrategia a largo plazo (Tabla 2.2)

.

Tabla 2.2: Asuntos claves en la definición de una estrategia integrada para mitigar un problema de un elemento traza que originalmente se encuentra en el agua subterránea (Nota Informativa 14 de GW-Mate)

ACCIÓN	ASUNTOS A RESOLVER
A CORTO PLAZO	
Evaluación del problema	• escala adecuada (local/provincial/nacional) para un relevamiento de la calidad del agua subterránea • selección de las técnicas analíticas adecuadas (*kit* de campo/método de laboratorio) • iniciativa del gobierno frente a la responsabilidad privada • disponibilidad de asesoramiento de especialistas para la interpretación hidrogeoquímica • evaluación de otros problemas potenciales de calidad del agua subterránea
Gestión del suministro de agua	• asesoramiento sobre el buen uso (información a la comunidad/ cegado e identificación de pozos) • consideraciones prácticas y sociales sobre el cambio de pozos • priorización del monitoreo analítico de campo (para confirmar los pozos seguros) • política del monitoreo adecuada (universal o de frecuencia selectiva/temporal)
Programa de salud pública	• identificación de los pacientes (programa activo o a través de consulta médica) • determinación de la relación entre el problema sanitario y la fuente de agua • diagnóstico de síntomas incipientes • tratamiento inmediato de pacientes (organización de la provisión de agua embotellada)
A LARGO PLAZO	
Opción de tratamiento del agua	• costo a la escala de la aplicación (ciudad/pueblo/vivienda) y efectividad/sostenibilidad a escala de la operación
Suministro alternativo con agua subterránea	• generalmente involucra (a) pozos de agua con tomas modificadas (a menudo más profundas) o (b) desarrollo de redes de suministro a partir de fuentes de calidad aceptable y alto rendimiento, se basa en investigaciones hidrogeológicas sistemáticas y se implementa conforme a estándares adecuados para la construcción de pozos
Suministro alternativo con agua superficial	• sostenibilidad en términos de confiabilidad en caso de sequía y de variabilidad de la calidad • evaluación de los riesgos asociados con fallas en la planta de tratamiento

El plan de emergencia probablemente incluya los siguientes elementos:

- Evaluación hidrogeoquímica del acuífero a una escala apropiada.
- Orientación comunitaria sobre restricciones de uso y ubicación segura de los pozos de agua.
- Programa de salud comunitaria para detectar síntomas relacionados con el agua potable.

5. Información necesaria para la gestión de las aguas subterráneas

La gestión de las aguas subterráneas debe basarse en una buena comprensión de las características de las mismas con enfoque de sistema (o cuenca hidrográfica, si se fuere necesario). Según sea la situación particular, los sistemas de agua subterránea pueden ser de escala relativamente pequeña, localizada (pocas hectáreas o kilómetros cuadrados) o de escala regional (hasta decenas o cientos de miles de kilómetros cuadrados). Esta comprensión requiere importantes cantidades de datos de investigaciones y monitoreo del agua subterránea interpretados por hidrogeólogos y, por lo general, la modelación del flujo del agua subterránea.

La caracterización de un sistema de aguas subterráneas, como base para su adecuada gestión, requiere los siguientes conocimientos:

- Extensión (límites) del sistema del acuífero
- Propiedades del acuífero
- Fuentes de recarga del sistema
- Descargas del sistema (incluidas las extracciones realizadas con perforaciones)
- Cambios de estas características en el tiempo.

La información sobre las características del sistema proviene de:

- Investigaciones hidrogeológicas
- Ensayos de bombeo
- Datos sobre la hidrología superficial (precipitaciones, evaporación, caudales de los cursos de agua, niveles de agua en embalses y lagos, etc.)
- Registros de nivel del agua subterránea en perforaciones
- Registros de extracción de agua subterránea

Esto puede requerir costosas investigaciones. Por lo tanto, deben tomarse decisiones sobre la importancia del acuífero (económica, social, o su amenaza) para justificar el nivel de profundidad de la investigación necesaria.

¿Dónde se encuentran los recursos de aguas subterráneas?

El "punto de partida" para la gestión de las aguas subterráneas es confeccionar un mapa de la localización de los acuíferos disponibles. Un acuífero es identificado por una extensión finita y continua que representa a una unidad hidrogeológica ubicada subsuperficialmente. Se lo caracteriza por sus límites geométricos (volumen) y la naturaleza de sus límites hidrogeológicos.

Los datos se resumen en diferentes tipos de mapas:

- extensión hidrogeológica del acuífero (límites del acuífero);
- profundidad del nivel freático de la superficie libre o de la superficie superior de la porción saturada de un acuífero (techo del acuífero);
- límite inferior de la unidad hidrogeológica (base del acuífero); y
- espesor del acuífero.

¿Cuán vulnerable es un acuífero libre?

Las características naturales de las capas geológicas que se encuentran encima de un acuífero freático determinan la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación antrópica. A los fines de protección de las aguas subterráneas, es necesario contar con mapas de vulnerabilidad para evaluar la tendencia o la probabilidad de que los contaminantes lleguen a un punto específico en el sistema de aguas subterráneas después de haber ingresado por algún lugar encima del acuífero más somero. Los mapas de vulnerabilidad se

¿Cuál es el formato adecuado para presentar información sobre las aguas subterráneas a quienes toman las decisiones?

elaboran para determinar el posible impacto de influencias antropogénicas en la calidad del agua subterránea.

¿Cuál es el rendimiento sostenible de un acuífero?

El objetivo principal de la gestión de las aguas subterráneas en el marco de la GIRH es proteger los recursos de la degradación de la calidad y asegurar que sus usos beneficiosos sean sostenibles. En un sentido amplio, el uso sostenible de las aguas subterráneas puede definirse como aquel nivel de uso que no ocasiona consecuencias inaceptables a largo plazo.

Ante el uso creciente del agua, es responsabilidad de los administradores evaluar la capacidad de los recursos hídricos subterráneos para sostener la demanda actual y la esperada debido al desarrollo y al aumento de la población. La evaluación de los recursos debe realizarse de acuerdo con las restricciones clave de planificación que varían temporal y espacialmente. Según sea la situación particular, las restricciones pueden darse por:

- Agotamiento del acuífero.
- Reducción de los niveles (o presiones) del agua subterránea
- Reducción de la descarga de agua subterránea (por ejemplo, de manantiales, flujo base a los cursos de agua, o humedales)
- Deterioro de la calidad del agua
- Subsidencia
- Otros impactos ambientales
- Impactos socioeconómicos y restricciones políticas (políticas nacionales sobre agua y desarrollo).

La evaluación de las aguas subterráneas debe hacer referencia a tres términos que se utilizan cuando se busca cuantificar su desarrollo sostenible:

- **Rendimiento seguro**: la máxima extracción de agua subterránea cuyas consecuencias son aceptables, por ejemplo, con referencia a efectos específicos del bombeo tales como descenso del nivel de agua, reducción del flujo base y degradación de la calidad del agua.
- **"Minería del agua subterránea"**: prolongada y progresiva disminución de la cantidad de agua almacenada en un sistema de agua subterránea, que puede ocurrir, por ejemplo, en acuíferos con agua subterránea "no renovable" en zonas áridas y semiáridas.
- **"Sobreexplotación"**: extracción de agua subterránea a tasas que se consideran excesivas por producir impactos negativos por la explotación del agua subterránea.

¿Dónde se encuentran las zonas de recarga?

El término recarga de agua subterránea hace referencia al agua que se infiltra en el suelo y alcanza el nivel freático atravesando los estratos geológicos. La recarga debe ser evaluada porque es el flujo de entrada al sistema acuífero y es un componente esencial del balance hídrico subterráneo. Además, es un indicador cualitativo de la renovabilidad de los recursos hídricos subterráneos.

Es fundamental determinar las áreas de recarga de acuífero. Es más, estas áreas deberían tener regulaciones específicas con respecto al uso y acceso del terreno a fin de garantizar la protección de las aguas subterráneas y la sostenibilidad de su explotación.

Factores como variabilidad de las precipitaciones, cambios climáticos, uso de la tierra y cambios en el uso de la tierra son componentes clave que inciden en la tasa de recarga. Una de las mejores prácticas de la gestión de las aguas subterráneas consiste en estudiar las oportunidades posibles para recargar el acuífero artificialmente a fin de renovar el recurso y contar con reservas para uso futuro.

Los mapas de zonas de recarga potencial son herramientas útiles que proporcionan información a quienes toman decisiones.

¿Dónde se produce la interacción del agua subterránea con el agua superficial?

El agua subterránea y el agua superficial están, en muchos casos, conectadas hidráulicamente (lo que le sucede a una, afecta a la otra). Sin embargo, este hecho fundamental es ignorado muy a menudo en los

estudios y en las políticas de gestión de los recursos hídricos. Por lo general, un acuífero que subyace a un sistema hidrográfico tiene asegura su flujo base. No obstante, este parámetro fundamental no suele evaluarse de manera adecuada. El agua subterránea puede hacer importantes aportes a ríos y arroyos; por su parte, el agua superficial hace lo propio para el agua subterránea. Por ejemplo, la eventual reducción del suministro de agua superficial como resultado de la explotación del agua subterránea complica la asignación del agua y la administración de los derechos de agua. Por lo tanto, la relación e importancia de la cantidad y la calidad del agua subterránea para la preservación de lagos, ríos, ecosistemas y recursos ictícolas son fundamentales para la gestión de un sistema de agua subterránea.

Los mapas de áreas de alto riesgo pueden proporcionar información útil para la de gestión. En estas áreas la explotación extensiva del agua subterránea no debería ser considerada sin estudios adicionales que determinen el potencial impacto en ríos, humedales y ecosistemas.

¿Cuáles son los cambios a corto y largo plazo en las aguas subterráneas?

A los fines de la gestión de los recursos hídricos, es fundamental conocer las tendencias de los cambios relacionados con las aguas subterráneas. Es necesario comprender los cambios (pasados, presentes y futuros) en el sistema del acuífero –recarga, almacenamiento, dirección del flujo y calidad– y de qué manera se relacionan con los impactos originados por el uso de la tierra y los cambios en estos usos, el cambio climático y el uso del agua.

Los registros obtenidos por monitoreo deben proporcionar datos integrales, coherentes y confiables (Módulo 9) para comprender y caracterizar mejor las condiciones existentes, identificar problemas actuales y potenciales, establecer prioridades, así como también para desarrollar políticas y estrategias viables para los recursos hídricos.

¿Hay motivo de preocupación por la calidad natural del agua?

La calidad del agua almacenada en acuíferos varía según su origen, ubicación y exposición a posibles fuentes de contaminación. Sin embargo, la contaminación no siempre es resultado de actividades humanas sino que puede ser de origen natural. A los efectos de la explotación del agua subterránea es de fundamental importancia identificar las áreas y niveles (verticales) que presentan amenazas naturales. El primer paso consiste en identificar aquellos ambientes geológicos que sean posibles portadores de agua subterránea contaminada.

Los administradores de agua subterránea deben contar con información adecuada como son los mapas que muestren la ocurrencia (con referencias tanto espacial como vertical) de agua con concentraciones de elementos perjudiciales para la salud.

6. Resumen: ¿Qué necesitamos conocer para una correcta gestión de las aguas subterráneas?

A continuación se resumen los aspectos clave de la caracterización de los sistemas de acuíferos que los administradores necesitan considerar para la gestión de las aguas subterráneas:

Almacenamiento. La relación entre el tipo de acuífero y el volumen de agua potencialmente almacenado es un aspecto fundamental y clave relacionado con la naturaleza del sistema del acuífero. En el módulo se caracterizó a los acuíferos con respecto a su capacidad de almacenamiento. Dicho almacenamiento también se relaciona con la escala del sistema de flujo de agua subterránea. Allí donde los sistemas de flujo tengan interconexión hidráulica en áreas muy grandes (acuíferos regionales), la gestión tendrá que dar cuenta de las extracciones/uso del acuífero en toda el área del acuífero. En cambio, es posible que en el caso de sistemas locales de agua subterránea con sistemas de flujo de menor escala no se justifique el costo de gestión, ya que el impacto será limitado y, en cierto grado, se autorregulará.

Relación entre tipo de acuífero, clima y opciones de suministro de agua. El módulo analiza qué posibilidades de suministro de agua hay según los diferentes tipos de acuífero en diferentes condiciones climáticas y cuáles son los riesgos y los costos de

explotación del agua subterránea en estas condiciones variables. La sostenibilidad de la explotación del agua subterránea es función del tipo de acuífero, clima, tasa de recarga y del tipo y escala de uso del agua subterránea.

Movimiento del agua subterránea. El impacto del movimiento del agua subterránea, según tipo y extensión de la unidad hidrogeológica, se analiza junto con las implicancias para la gestión. Se destaca el efecto moderador del movimiento del agua subterránea comparado con el del agua superficial debido a la lentitud de su circulación, hace que el agua subterránea sea más resistente a las sequías que el agua superficial. Se explica el impacto hidroquímico de los prolongados tiempos de residencia del agua subterránea y se analizan las consecuencias en términos de calidad del agua natural.

Recarga y descarga de aguas subterráneas

Se analizan la importancia y la complejidad de los procesos de recarga de acuíferos y se plantea la dificultad de evaluar la recarga de agua subterránea como un importante aspecto de la gestión. Se destacan la necesidad de identificar las zonas de recarga y la importancia de protegerlas. Se analizan los factores que afectan la recarga de las aguas subterráneas y las estrategias para mejorar y proteger la recarga. Se analiza la descarga de agua subterránea así como su vinculación con los ecosistemas que dependen de ella. La relación entre extracción, longitud de la trayectoria del flujo y descarga de agua subterránea son factores clave para la gestión de humedales, manantiales y otras zonas de descarga de agua subterránea.

Balance hídrico. El cálculo del balance hídrico es una herramienta vital para la gestión de los acuíferos y, en particular, para la gestión conjunta de aguas superficiales y subterráneas. Todos los flujos naturales de

Ejercicio 1: Caracterización de los sistemas de agua subterránea
Objetivo: Valorar la relación entre la comprensión de los sistemas hídricos subterráneos y las estrategias de gestión **Duración:** 30 minutos **Actividad:** En 4 grupos, los participantes deben analizar de qué manera la comprensión de las características específicas de los acuíferos puede mejorar la gestión de las aguas subterráneas**.** **Presentación de Informes:** Cada grupo presenta una tabla con las características identificadas de los acuíferos y como mejorar la gestión de las aguas subterráneas. **Facilitador:** Señala las características que no suelen ser conocidas y estimula la discusión basada en las experiencias de los participantes sobre cómo se toman decisiones de gestión sin la información necesaria.
Ejercicio 2: Gestión integrada de los recursos hídricos
Objetivo: Valorar la relación entre la gestión de aguas superficiales y subterráneas. **Duración**: 60 minutos **Actividad:** En 3 grupos, los participantes intercambian opiniones sobre la interacción entre las aguas superficiales y subterráneas y su relevancia para la gestión de la contaminación y la asignación del agua. Formulan recomendaciones sobre cómo deberían gestionarse de manera conjunta las aguas superficiales y subterráneas. **Presentación de Informes:** Cada grupo presenta sus recomendaciones y sigue un debate general.
Ejercicio 3: gestión de las aguas subterráneas
Juego de roles: Un grupo de participantes (los administradores) adoptan el rol de diferentes administradores de recursos hídricos: por ejemplo, administrador de recursos hídricos de la ciudad, administrador nacional de recursos hídricos y ministro de recursos hídricos. Hacen preguntas a los hidrogeólogos acerca de los recursos hídricos subterráneos disponibles. Los otros grupos de participantes (los hidrogeólogos) explican de qué manera los diferentes sistemas de acuíferos pueden proporcionar el agua requerida y señalan los beneficios y riesgos más relevantes. A cada grupo de “hidrogeólogos” se le asigna un ambiente hidrogeológico diferente. **Actividad:** El objetivo del diálogo entre “administradores” e “hidrogeólogos” es asegurar que ambas partes se entiendan correctamente y que los “administradores” tengan información adecuada para administrar los recursos hídricos.

entrada y salida así como las extracciones por bombeo y las recargas artificiales por filtración e inyección en pozo son componentes del balance hídrico que deben cuantificarse para una gestión efectiva e integrada de las aguas subterráneas.

Problemas con la calidad natural del agua. Se analizan los problemas de calidad natural del agua subterránea y se identifican los más comunes. Se presentan prácticas de mitigación para tratar dichos problemas naturales, incluida la mezcla y reserva de aguas de diferentes calidades para distintos usos.

Referencias y lectura en la web

Batu Vedat, 1998: Aquifer Hydraulics. A comprehensive guide to hydrogeologic data analysis. John Wiley & Sons, INC.

Castany, G, 1982: Principes et méthodes de l'hydrogéologie. BORDAS, París

www.e-geologie.org

Foster, S. S. D., e Hirata, R. A.. 1988. Groundwater Pollution Risk Assessment: A Methodology Using Available Data. Lima, Perú: WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Perú.

GW•MATE, 2002-2006, Notas informativas 2, 13 y 14.

http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,contentMDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:4602123,00.html

MacDonald, A., Davies, J., Calow, R., y Chilton J., 2005: Developing Groundwater. A guide for Rural Water Supply. YIDG Publishing.

Schmoll, O., Howard, G., Chilton, J., Chorus, 2006: Protecting Groundwater for Health. Managing the quality of drinking-water source. OMS, IWA Publishing.

http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/PGWsection1.pdf

Módulo 3: Gestión integrada de aguas subterráneas en la práctica

Objetivos de aprendizaje

- Descubrir la relación entre las presiones sobre el sistema de aguas subterráneas y las inversiones en gestión.
- Valorar la relación entre aguas superficiales y subterráneas y la manera en que pueden administrarse conjuntamente.
- Comprender el rol de las aguas subterráneas en la planificación de la gestión de los recursos hídricos a nivel nacional y de cuenca.
- Valorar la importancia de una buena gestión de las aguas subterráneas para la protección de los ecosistemas.

1. Modelo de funcionamiento de los sistemas acuíferos

A diferencia del agua superficial, el agua subterránea se encuentra en cuencas subterráneas de estructura controlada (Módulo 2). Los límites físicos de la cuenca hidrogeológica están definidos por características geológicas específicas, patrones/estructuras (fallas, fracturas, afloramiento de rocas impermeables, etc.) que se formaron como resultado de diferentes procesos geológicos, tales como movimientos tectónicos, procesos metamórficos, volcanismo, sedimentación, erosión, etc. Al igual que con el agua superficial, una cuenca hidrogeológica puede estar constituida por una cantidad de subcuencas conectadas hidráulicamente. Para definir los límites de estas cuencas subterráneas se requieren múltiples herramientas de investigación.

El agua subterránea se mueve siguiendo trayectorias de flujo de diferentes longitudes que vinculan las zonas de recarga con las de descarga. Por consiguiente, el término "sistema de flujo" refiere a la definición de los límites hidráulicos de las unidades de gestión de las aguas subterráneas.

Sobre la base de la conectividad hidráulica de las diferentes partes/unidades de su sistema acuífero, una cuenca hidrogeológica generalmente se administra según un **sistema de flujo** para dar cuenta de los efectos de aguas arriba y aguas abajo. Un **sistema de flujo de agua subterránea** se define a partir de una zona de recarga y una zona de descarga y está separado de otros sistemas por divisorias de aguas subterráneas. En zonas de recarga un componente del flujo es descendente, mientras que en zonas de descarga el flujo es ascendente.

Se pueden considerar diferentes escalas de la gestión de las aguas subterráneas según los límites del sistema de flujo. Los sistemas de flujo subterráneo pueden funcionar en una de tres escalas típicas que pueden superponerse (Figura 3.1). En los sistemas locales, las trayectorias de los flujos del agua subterránea son relativamente cortas (<5 km) y la descarga se produce habitualmente en las tierras bajas adyacentes a la zona de recarga más elevada. En cambio, los sistemas de flujo regional más profundos tienen trayectorias mucho más extensas y las zonas de recarga y descarga pueden estar separadas por decenas (o cientos) de kilómetros. Además de la geología, la topografía desempeña un papel importante en la escala de estos sistemas. Los sistemas de flujo **local** predominan en las áreas de relieve pronunciado, mientras que los sistemas de flujo **regional** se desarrollan en zonas llanas. Como los sistemas de flujo local son los menos profundos y los más dinámicos, suelen tener la mayor interacción con las aguas superficiales. Sin embargo, en las tierras bajas de la cuenca hidrográfica, la descarga de sistemas de flujos de escala **intermedia** a regional puede ser significativa.

En general, la gestión de los recursos hídricos se realiza mejor dentro de los límites de la cuenca hidrográfica. A tal fin, es necesario identificar las características hidrogeológicas generales de la cuenca porque pueden variar dentro de ella y puede haber varios sistemas de flujo subterráneo con posibilidad de interactuar con el río, sea directa o indirectamente.

2. Pautas para la práctica de la gestión y gobernabilidad de las aguas subterráneas

Las pautas para la gestión de las aguas subterráneas se definen como aquellas que pretenden/buscan (Nota Informativa 0 de GW-Mate)**:**

1. Mantener un equilibrio razonable entre los costos y los beneficios de las actividades e intervenciones de gestión, y así
2. tener en cuenta la susceptibilidad a la degradación del sistema hidrogeológico en cuestión y los intereses legítimos de los usuarios del agua, que incluyendo los requerimientos de los ecosistemas y de flujo base aguas abajo.
3. Prever posibles intervenciones de gestión en el contexto de la evolución normal de la explotación del agua subterránea (Figura 3.2.)

Se pueden identificar niveles de explotación de las aguas subterráneas según la susceptibilidad a la degradación del sistema hidrogeológico y los legítimos intereses de los usuarios del agua. En casos de extracción excesiva e insostenible (Figura 3.2: 3A: Explotación inestable), lo que ocurre con frecuencia, la tasa de extracción total (y, en general, la cantidad de pozos de agua

Figura 3.1: Sistemas de flujo de agua subterránea de diferente escala: local, intermedia y regional (Toth, 1963)

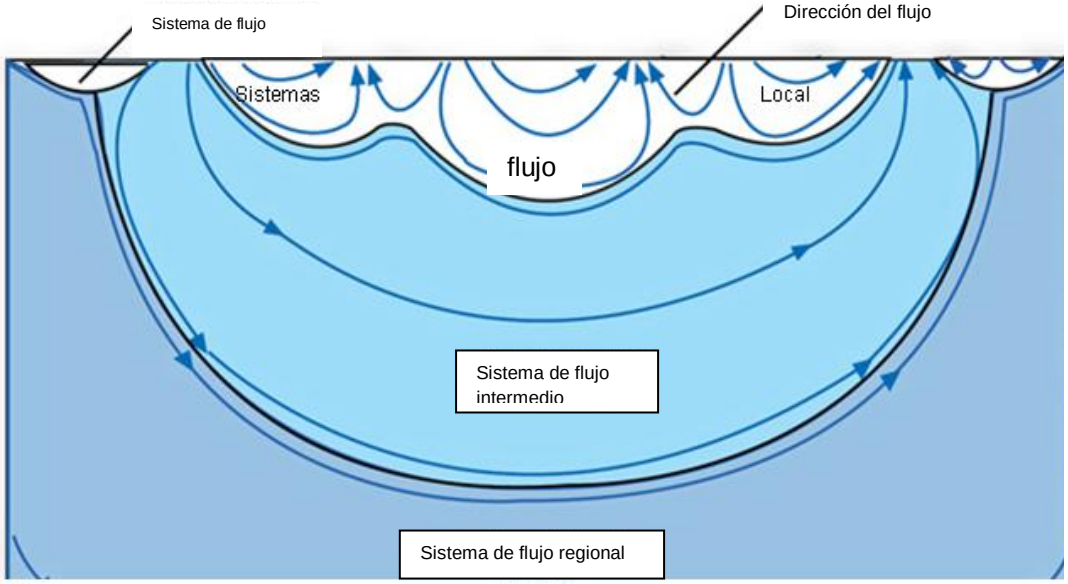
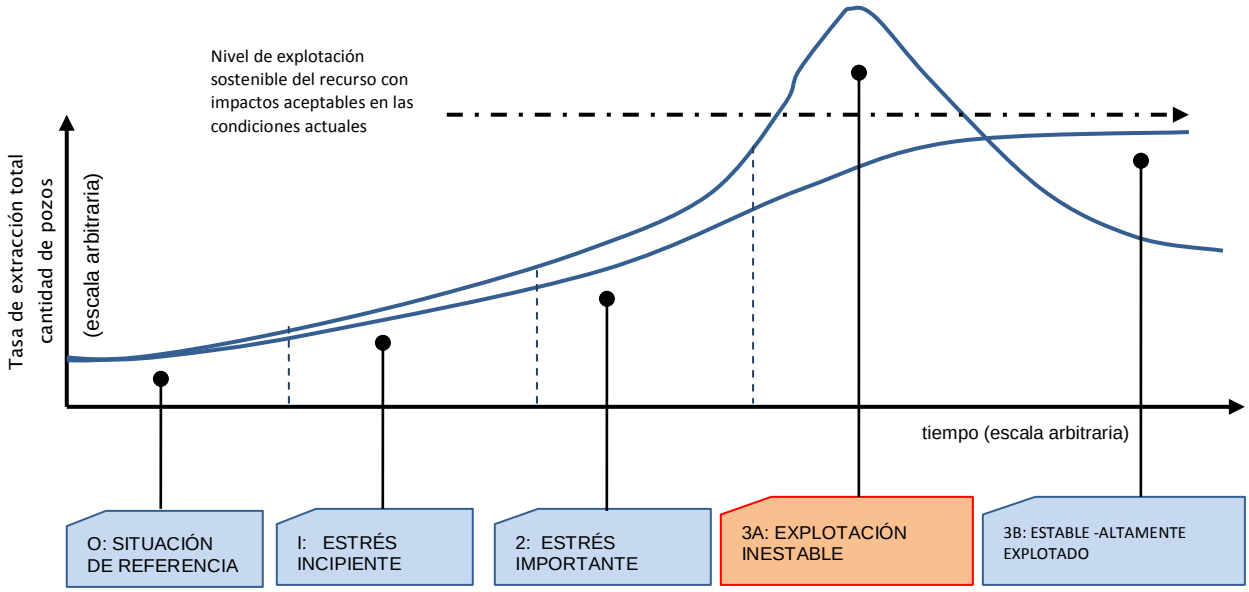


Figura 3.2: Niveles de explotación de un acuífero importante



productivos) finalmente caerá de manera significativa como resultado de la casi irreversible degradación del mismo sistema acuífero.

metodología práctica para implementar la gestión integrada de los recursos hídricos, no deben promover un procedimiento de gestión meramente reactivo. Los enfoques preventivos probablemente sean más efectivos.

Tabla 3.1: Niveles de explotación del agua subterránea e intervención de gestión requerida

	Nivel de explotación	Descripción	Intervención de gestión requerida
Nivel 0:	Situación de referencia	La disponibilidad y la accesibilidad del agua subterránea de calidad adecuada exceden ampliamente una demanda pequeña y dispersa.	Registro de pozos y manantiales en uso; mapas de ubicación de los recursos utilizables.
Nivel 1:	Estrés incipiente	Aumento del bombeo del acuífero; pero pocos conflictos locales entre usuarios vecinos.	Aplicar herramientas de gestión simples (por ejemplo, espaciamiento adecuado entre pozos según las propiedades del acuífero).
Nivel 2:	Estrés importante	Rápida expansión de las extracciones con impacto en el régimen natural y fuerte dependencia de diversas partes interesadas del recurso.	Marco regulador basado en una evaluación exhaustiva de los recursos con valoración crítica de la interconexión de los acuíferos.
Nivel 3A:	Explotación inestable	Extracción excesiva descontrolada con deterioro irreversible del acuífero y conflicto entre las partes interesadas.	Se requiere con urgencia marco regulador que incluya prácticas de gestión de la demanda y/o de recarga artificial.
Nivel 3B:	Estable altamente explotado	Extracción intensiva, pero con equilibrio entre los intereses de las distintas partes interesadas y las necesidades de los ecosistemas.	Gestión integrada de los recursos basada en la modelación y el monitoreo del acuífero con alto nivel de autorregulación por parte del usuario.

La Tabla 3.1 resume las intervenciones de gestión necesarias para los cinco niveles de explotación del recurso que se muestran en la Figura 3.2.

La gestión integral de las aguas subterráneas puede ser prematura en países cuya prioridad es la construcción de infraestructura mínima de suministro de agua subterránea para satisfacer las necesidades humanas básicas. Por ello se recomiendan procedimientos prácticos de acuerdo con las diferentes situaciones.

Las intervenciones de gestión de los recursos hídricos descritas en la columna 4 (Tabla 3.1) siguen la evolución de la explotación del agua subterránea. Si bien se aceptan como una

3. Funciones de la gestión de las aguas subterráneas

Las intervenciones de gestión de las aguas subterráneas pueden agruparse en tres categorías:

1. Funciones de gestión
2. Aportes técnicos
3. Acuerdos institucionales

La Tabla 3.2 ilustra la aplicación de los sistemas de gestión de acuerdo con el nivel de explotación y de estrés hidráulico del acuífero.

Tabla 3.2: Niveles de intervención y funciones de la gestión de las aguas subterráneas necesarias para cada nivel de explotación del recurso

Gestión de aguas subterráneas	Nivel de desarrollo de la función correspondiente (de acuerdo con el nivel de estrés hidráulico)			
	Situación de referencia	**Estrés incipiente**	**Estrés importante**	**Explotación inestable**
Función de gestión				
Asignación de recursos	Limitadas restricciones a la asignación	Competencia entre usuarios	Prioridades definidas para uso extractivo	Asignación equitativa de usos extractivos y valoración in situ
Control de la contaminación	Pocos controles sobre uso de la tierra y disposición de desechos	Zonificación del uso de la tierra pero sin control preventivo	Control de nuevas fuentes de contaminación puntual y/o del emplazamiento de nuevos pozos en zonas seguras	Control de todas las fuentes de contaminación puntuales y difusas; mitigación de la contaminación existente
Prevención de efectos colaterales	Escasa preocupación por los efectos colaterales	Reconocimiento de efectos colaterales (a corto y largo plazo)	Medidas preventivas en reconocimiento del valor in situ	Mecanismos para equilibrar los usos extractivos y los valores in situ
Aportes técnicos				
Evaluación del recurso	Conocimiento básico del acuífero	Modelo conceptual basado en datos de campo	Modelos numéricos operativos con simulación de diferentes escenarios	Modelos asociados con la toma de decisiones y utilizados para la planificación y la gestión
Evaluación de la calidad	No hay experiencia de restricciones por cuestiones de calidad	La variabilidad de la calidad es un problema para la asignación del recurso	Comprensión de los procesos de calidad del agua	Calidad integrada en planes de asignación
Redes de monitoreo de acuíferos	Ningún programa de monitoreo sistemático	Proyecto de monitoreo, intercambio de datos *ad hoc*	Rutina de monitoreo establecida	Programas de monitoreo para las decisiones de gestión
Disposiciones institucionales				
Derechos de agua	Derechos de agua consuetudinarios	Esporádica clarificación local de los derechos de agua (en tribunales)	Reconocimiento de que los cambios sociales dejan sin efecto los derechos de agua consuetudinarios	Derechos dinámicos basado en planes de gestión
Disposición reguladora	Regulación social únicamente	Regulación restringida (por ej.: autorización de nuevos pozos, restricciones a la perforación)	Regulación y aplicación activas por parte del organismo responsable	Facilitación y control de la autorregulación de las partes interesadas
Legislación hídrica	No existe	Ley de aguas subterráneas en discusión	Disposición legal para la organización de los usuarios de agua subterránea	Marco legal completo para la gestión del acuífero
Participación de partes interesadas	Poca interacción entre el ente regulador y los usuarios	Participación reactiva y desarrollo de organizaciones de usuarios	Organizaciones de partes interesadas en una estructura de gestión (por ej., concejos de acuíferos)	Partes interesadas y entes reguladores comparten la responsabilidad de la gestión de los acuíferos
Concienciación y educación	Agua subterránea: recurso infinito y gratuito	Agua subterránea: recurso finito (campañas de protección y conservación del agua)	Agua subterránea: bien económico y parte de un sistema integrado	Interacción y comunicación efectivas entre las partes interesadas
Análisis económico /instrumentos	Externalidades económicas apenas reconocidas (la explotación está ampliamente subsidiada)	Sólo cargos simbólicos por la extracción de agua	Reconocimiento del valor económico (reducción y direccionamiento de los subsidios al combustible)	Valor económico reconocido (cargos adecuados y posibilidad incrementada de reasignación)

4. Incorporación de las aguas subterráneas en las estrategias de GIRH

Aunque a menudo no se las tiene en cuenta, las aguas subterráneas son un componente de las estrategias de GIRH. Como se explica en el Módulo 1, los tres pilares de la GIRH (eficiencia económica, sostenibilidad ambiental y equidad social) son las directrices para el cambio en el sector agua, incluidas las aguas subterráneas.

Las estrategias de GIRH suelen incluir herramientas para el cambio en diferentes áreas (Cuadro 1.2, Módulo 1) para tratar los asuntos/problemas en los sistemas de gestión de los recursos hídricos.

Esta sección versará sobre opciones de políticas, procesos de planificación de la GIRH a nivel nacional y de cuenca hidrográfica, acuíferos transfronterizos y la dimensión del ecosistema asociado a las aguas subterráneas que se han de gestionar.

4.1 Lineamientos claves para la política

La política de gestión de las aguas subterráneas no debe separarse de la de los demás recursos hídricos, aunque puede haber algunos elementos que les sean propios.

- Un enfoque integrado para la gestión de los recursos hídricos (incluidas las aguas subterráneas) debe fijar metas para:
  - Equilibrar la creciente demanda de recursos con las necesidades de los ecosistemas acuáticos y terrestres y el flujo base en tramos aguas arriba de los ríos cuando fuere pertinente.
  - Tener en cuenta las relaciones bidireccionales entre las políticas macroeconómicas, los objetivos sociales y ambientales en sentido amplio, y el desarrollo, la gestión y el uso de las aguas superficiales y subterráneas.

- Considerar la integración **intersectorial** en la *formulación de políticas*. Esto facilita la implementación de decisiones referidas a las prioridades; por ejemplo, el suministro básico de agua potable. La coordinación intersectorial permite la representación de los intereses del agua (superficial y subterránea) en sectores no relacionados con el agua, como el de gestión del uso de la tierra. Además, esto contribuye a poner en efecto la relación entre los permisos de extracción de agua y el control de descarga de aguas residuales.

- Considerar el **valor del agua** (superficial y subterránea) en todos sus usos para un uso eficiente, equitativo y sostenible, así como su relación con la extracción de agua superficial donde corresponda.

- Se debe prestar especial atención al delineamiento de los **límites de la gestión** del agua (superficial y subterránea) que concilien el ambiente hidrogeológico, los límites políticos / administrativos, las estructuras / sistemas de gestión de la cuenca hidrográfica, etc., y los problemas / las necesidades de la gestión del recurso (Módulo 1). **Los objetivos de gestión**, así como el monitoreo y la preparación de informes, operan a nivel de cuenca hidrográfica. Las unidades de gestión de los recursos hídricos (tanto superficiales como subterráneos) suelen estar en esta escala, de modo que las propiedades de conectividad deben agregarse a este nivel para ser incorporadas en los planes de gestión. De manera similar, los objetivos de calidad del agua (tales como salinidad en el tramo final de un río) también operan en el contexto de la cuenca hidrográfica.

¿Qué sucede si no hay ríos conectados con el sistema de flujo de agua subterránea?

- Se debe estudiar de manera adecuada la descentralización, la privatización y el rol del gobierno.

Cuadro 3.1. Estrategias técnicas para corregir situaciones de explotación excesiva e inestable de aguas subterráneas

Nivel de acción	Intervenciones de gestión orientadas a la demanda	Medidas de ingeniería orientadas a la oferta
Agricultura bajo riego	• Ahorro real de agua asegurado en parte por: - distribución por tuberías de baja presión - promoción de cambio de cultivos y/o reducción del área bajo riego. • Uso eficiente del agua para prácticas agronómicas	• Técnicas locales de cosecha de agua • Estructuras adecuadas para mejorar la recarga (ya sea por captación del escurrimiento superficial local o, a veces, con transferencia de agua superficial)
Principales centros urbanos	• Ahorro real de agua a veces asegurado por: - Reducción de pérdidas de cañerías maestras y/o del consumo de agua - Reducción del uso superfluo (riego de jardines, lavado de automóviles)	• Reciclado y reutilización de aguas residuales urbanas (incluida la recarga controlada y/o fortuita del acuífero por saneamiento in situ y por pérdidas en la red de alcantarillado) (Nota Informativa 12)

- Concienciar a las **partes interesadas** (de abajo hacia arriba) y proporcionar un ambiente favorable en términos legales y económicos (arriba hacia abajo) para fortalecer la gobernabilidad del agua (superficial y subterránea).

- Las medidas orientadas hacia la demanda deben incluir estrategias técnicas para la gestión del agua (superficial y subterránea) tanto en ambientes urbanos como rurales. El Cuadro 3.1 presenta ejemplos típicos de medidas de gestión orientadas a la demanda para el riego y los usos urbanos.

4.2 Las aguas subterráneas en la planificación de la GIRH a nivel nacional

Es probable que únicamente en el caso de acuíferos grandes e importantes desde el punto de vista económico se necesiten planes por separado para la gestión de las aguas subterráneas. Incluso estos deben considerarse de manera conjunta con la planificación del agua superficial para elaborar un plan de GIRH nacional y planes de cuenca.

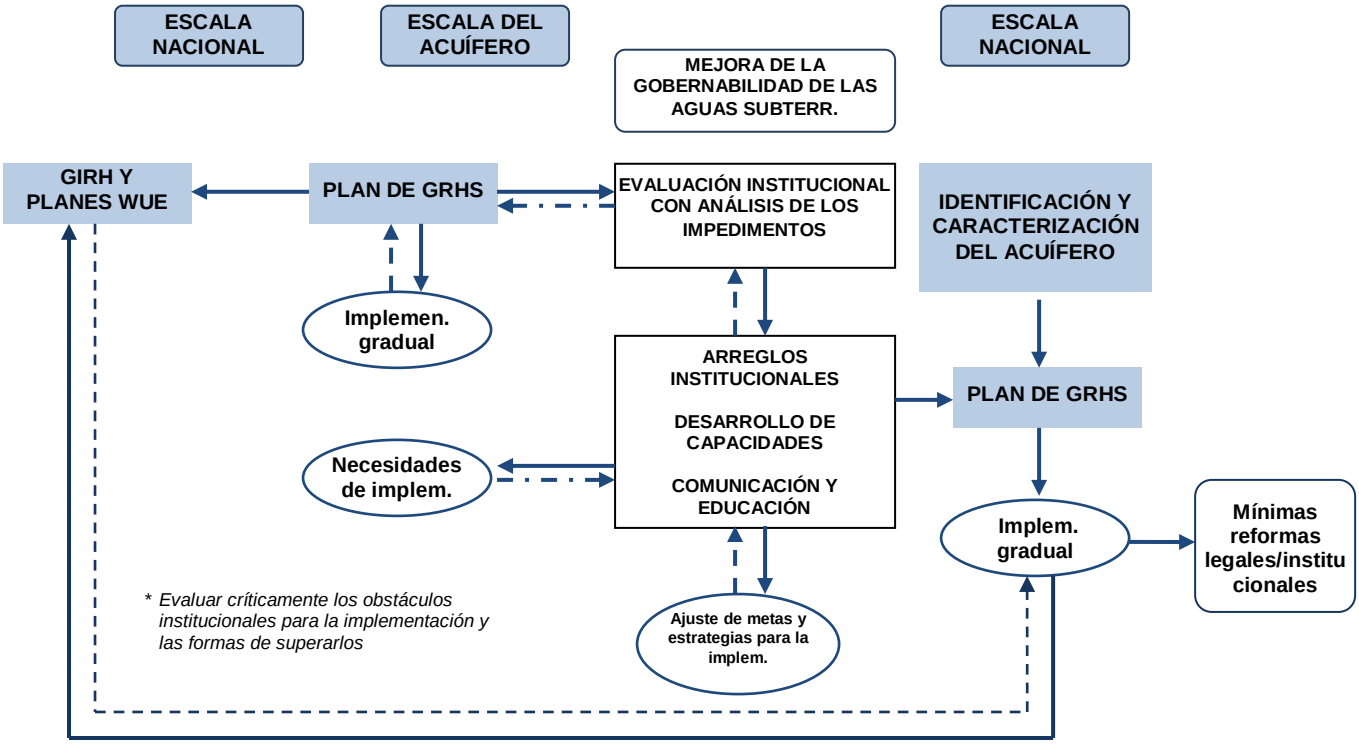
- El componente agua subterránea en los planes de la GIRH nacional puede elaborarse a partir de planes específicos de gestión del acuífero como se ilustra en la Figura 3.3. En primer lugar, se debe recopilar toda la información disponible sobre los acuíferos del país, clasificar los sistemas de agua subterránea según sus características hidrogeológicas y problemas de gestión, e identificar sus zonas críticas. Este proceso se puede refinar con información a nivel de acuífero local lo que facilitará la evaluación de las necesidades de gestión de las aguas subterráneas a nivel nacional.

- Asuntos tales como la modificación de políticas nacionales de producción de alimentos y reorientación de los subsidios a la perforación de pozos o a la explotación obviamente no pueden manejarse a nivel local y requieren decisiones a nivel nacional.

- A nivel nacional también se debe poner énfasis en lo siguiente:
  - evaluación del marco legal e institucional;
  - evaluación de la capacidad técnica e institucional disponible;
  - evaluación de la voluntad política y de los impedimentos para avanzar;
  - preparación de una “hoja de ruta orientada a la acción”, que incluya el apropiado y necesario desarrollo de capacidades.

- Con la participación de las partes interesadas se debe elaborar un plan de desarrollo nacional de los recursos hídricos como un componente del plan nacional de GIRH y tratar los asuntos establecidos en la Tabla 1.2, Módulo 1. Los puntos que se indican a continuación son importantes para las aguas subterráneas:
  - medidas agronómicas técnicas y de gestión para mejorar la **eficiencia en el uso del agua para riego que resulten en un ahorro real de agua**;
  - la sostenibilidad del recurso es un tema prioritario para el desarrollo del riego y el suministro municipal de agua, para lo cual se toman medidas tendientes a **proteger y conservar el agua subterránea**;
  - el uso de **aguas residuales urbanas** como recurso adicional para la agricultura bajo riego, prestando atención a la contaminación del agua subterránea y a los riesgos relacionados con la salud (Módulo 8);
  - las iniciativas para **mejorar la recarga por precipitaciones** son efectivas técnica y económicamente, y equitativas en términos de beneficios;
  - el componente aguas subterráneas en la planificación del uso de la tierra permite efectuar **cambios en el uso de la tierra para proteger la calidad de dichas aguas** (Módulo 8).
- El proceso de planificación de las aguas subterráneas debe ser dinámico e iterativo, y permitir la interacción / el aprendizaje y el monitoreo / la retroalimentación entre los niveles locales y nacionales del acuífero. **Esto debe permitir la implementación simultánea de medidas prácticas de gestión donde más se las requiera sin perder de vista el contexto general y manejar juiciosamente la incertidumbre y los vacíos de información.** Para una gestión efectiva y protección de los acuíferos es indispensable contar con un sólido modelo conceptual de funcionamiento del sistema (incluido su calidad) y una valoración del impacto de la actividad humana. No obstante, la falta de datos completos no debería ser una excusa para no continuar con el trabajo, ya que se puede hacer mucho aun sin una base de datos exhaustiva. Completar los vacíos de información clave puede convertirse, de hecho, en parte del proceso de monitoreo de la gestión.

Fig. 3.3: Proceso de planificación e implementación de la gestión de las aguas subterráneas



- Ya sea a nivel de acuífero o a nivel nacional, un plan de gestión de las aguas subterráneas debe considerarse como una “hoja de ruta” para guiar los cambios necesarios al pasar de una gestión fragmentada a una gestión integrada de las aguas subterráneas y acelerar su implementación. Un plan debe establecer claramente las metas y el camino para lograrlas, con hitos de progreso que puedan monitorearse con facilidad.

4.3 Planificación integrada de la cuenca

Como el título lo indica, la planificación de las aguas subterráneas en una cuenca no puede llevarse a cabo de manera aislada de la planificación de las aguas superficiales ni de los planes para el desarrollo social y económico de la cuenca.

- No existe un único modelo para planes de gestión integrada de cuencas que se adecue a todos los casos. La experiencia internacional (resumen en la Tabla 3.3) puede servir para identificar los elementos esenciales de un plan para la cuenca. Además, hay que asegurarse de que el plan incluya a

Tabla 3.3: Puntos a tener en cuenta en la elaboración de planes de gestión de las aguas subterráneas (Nota Informativa 10 de GW-Mate)

Fase del Plan	Aspecto	Actividad / Reforma
ANÁLISIS SITUACIONAL	Estado del agua subterránea y servicios requeridos	Evaluación de recursos Características de la calidad Servicios requeridos
	Acuerdos de gestión vigentes	Disposiciones institucionales Asignación y uso del agua Redes de monitoreo Capacidad institucional
ELECCIÓN DE ESTRATEGIA	Futuras opciones/reforma de gestión	Análisis económico Definición de opciones
IMPLEMENTACIÓN	Programa de implementación	Participación de usuarios / partes interesadas Requisitos de monitoreo y revisión Análisis económico/financiero Sistema de información
EVALUACIÓN	Proceso de evaluación y revisión del plan	Evaluación de los recursos hídricos Eficiencia del uso del agua Conflictos Recuperación de costos Instrumentos de regulación

la totalidad de los recursos hídricos de la cuenca y no solo a las aguas superficiales.

- El liderazgo por parte de un equipo profesional interdisciplinario (hidro-geólogos, ingenieros ambientales, economistas, sociólogos y abogados) es una condición necesaria para lograr un plan de recursos hídricos (superficiales y subterráneos) que:
  - esté basado en sólidos principios científicos y tecnológicos;
  - recomiende opciones de gestión económicamente factibles;
  - sea sostenible desde el punto de vista ambiental, socialmente aceptable y que se pueda implementar institucionalmente.

- La planificación y la implementación deben interrelacionarse fuertemente, de manera que la preparación de un plan
- de gestión de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) se lleve a cabo en etapas progresivas, a partir de un primer borrador que se evalúe teniendo en cuenta los posibles impedimentos institucionales para su implementación. Se puede adoptar una o más de las siguientes medidas tanto para mejorar la gobernabilidad de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) como para preparar versiones subsiguientes más realistas:
  - mejorar los acuerdos institucionales
  - establecer programas para el desarrollo de capacidades
  - implementar campañas de educación pública
  - mejorar la información sobre el uso de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) y
  - asegurarse de que los objetivos sean alcanzables y de que las estrategias de implementación sean sencillas y directas.

- La versión final del plan debe ser aprobada por la autoridad competente y debe ser vinculante tanto para la administración de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) como para los usuarios, sin perjuicio de revisiones periódicas y de actualizaciones en los intervalos que indique la legislación. El plan puede implementarse gradualmente, y las lecciones aprendidas de su implementación permitirán mejorar los planes subsiguientes.

- La adopción del enfoque de la GIRH es más sencilla si se enfocan problemas reales y se los aborda de manera directa. La Tabla 3.4 ofrece ejemplos de algunos problemas específicos de la gestión de las aguas subterráneas pero, obviamente, también habrá problemas relativos a los recursos hídricos superficiales. En tal caso y siempre que sea posible, las soluciones deben ser integradas. En la planificación y la gestión de las aguas subterráneas, diferentes partes interesadas pueden tomar el liderazgo a partir de “puntos de acceso” específicos (incluso antes de que se complete el plan) y de acuerdo con el asunto en cuestión. En este sentido, la identificación de objetivos iniciales que permitan obtener fácilmente beneficios claros a corto plazo (”*harvesting the low-hanging fruit*”) puede ayudar a reforzar el respaldo político a la implementación del plan.

- A nivel del acuífero, los actores clave para la planificación de las aguas subterráneas son los usuarios mismos y otras partes interesadas locales, ya que ellos deberían ser quienes mejor conozcan los puntos en cuestión. Pero hay que reconocer que la participación social por sí misma rara vez llevará a una gestión sostenible de las aguas subterráneas, y que normalmente se necesitará del gobierno para facilitar un enfoque complementario "de abajo hacia arriba" y de "arriba hacia abajo".

Tabla 3.4: Puntos de acceso para los principales actores en la planificación e implementación de la gestión de las aguas subterráneas

ASPECTOS CLAVE PARA LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
Desarrollo rural
Acceso económico: necesidad de información hidrogeológica sólida para asegurar la posibilidad de explotar fuentes de agua subterránea a costos aceptables.
Confiabilidad operativa del suministro: necesidad de estándares sólidos/programáticos, diseño correcto, O&M, planes financieros adecuados.
Agotamiento del acuífero: control de la extracción de agua subterránea a fin de evitar interferencias entre pozos, afectación de caudales a los cursos de agua, humedales de agua dulce o lagunas salobres aguas abajo, intrusiones de agua salina o subsidencia.
Contaminación difusa del agua subterránea: control de la contaminación del acuífero y protección de las fuentes de aguas subterráneas principalmente a través de la planificación y del control del uso de la tierra.
Desarrollo urbano
Inadecuado control de la extracción de agua subterránea en zonas urbanas: reservar los acuíferos más profundos para usos críticos y fomentar el uso de agua subterránea somera contaminada para las actividades no críticas.
Inadecuado control de la extracción de agua subterránea en la periferia urbana: reservar el agua subterránea de buena calidad para el suministro de agua potable y para el riego reemplazarla por aguas residuales tratadas o por agua subterránea somera contaminada .
Excesiva carga contaminante: definir zonas de protección de la fuente para priorizar el control de las carga de contaminantes en campos de pozos municipales y planificar el manejo de aguas residuales teniendo en cuenta el interés que reviste el agua subterránea.
Excesiva infiltración urbana: reducir la infiltración a través del control de pérdidas de la red de abastecimiento y de filtraciones desde instalaciones de saneamiento "in situ" mediante la instalación de alcantarillas**;** aumentar la extracción de agua subterránea somera contaminada para usos no críticos.

Tabla 3.5: Niveles y evolución de mecanismos institucionales internacionales para la planificación y gestión de las aguas subterráneas

NIVEL DE COOPERACIÓN	MECANISMOS INSTITUCIONALES		
	TIPO	**FUNCIÓN**	**PARTICIPACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN**
Incipiente	Red de agencias nacionales de intercambio de datos coordinadas por una institución neutral	Administración de la base de datos y de los modelos del acuífero	Aporta la información necesaria, pero la planificación es una función de los gobiernos nacionales
Moderado	Comité técnico con secretaría	Administración de la base de datos y de los modelos del acuífero; elaboración de estrategias, planificación y medidas	Recomienda un plan, pero la decisión sobre su aprobación es tomada por los gobiernos nacionales
Alto	Comisión conjunta con secretaría	Administración de la base de datos y de los modelos del acuífero; adopción de estrategias, planes y medidas; y aprobación de medidas de desarrollo de recursos	La comisión toma decisiones autónomas sobre los planes sondas porque obligan a los estados miembros; fuerte sinergia entre las instituciones gubernamentales nacionales

5. Enfoques para los acuíferos transfronterizos

- Hasta la fecha solo existen contados ejemplos de cooperación internacional para la gestión de recursos hídricos subterráneos compartidos, aunque cada vez más se reconoce que dicha cooperación es beneficiosa y debe institucionalizarse para evitar conflictos. Los esfuerzos por desarrollar instrumentos legales internacionales son muy recientes y, por lo general, no contemplan la planificación de las aguas subterráneas.

- En el caso de las aguas subterráneas transfronterizas, no es posible adoptar un enfoque uniforme. En determinadas circunstancias –por ejemplo, explotación de reservas no renovables– es aconsejable elaborar un plan de gestión de las aguas subterráneas transfronterizas que incluya una ”estrategia de salida o de cierre de la explotación” (Nota Informativa 11 de GW-Mate). Pero los efectos de la explotación de agua subterránea a una escala mucho menor (por ejemplo, suministro de agua a pequeñas ciudades y subsistencia rural) solo se percibirán a nivel local, por lo que no sería necesario un plan para la totalidad del sistema acuífero transfronterizo.

- Se pueden seleccionar diferentes mecanismos institucionales para planificar y gestionar los recursos hídricos subterráneos transfronterizos, de acuerdo con el nivel de cooperación existente entre los estados involucrados (Tabla 3.5) y con el tipo y la urgencia de los asuntos a abordar. Cabe destacar que un mecanismo institucional puede empezar como un simple acuerdo para manejar e intercambiar datos y pasar a ser una comisión internacional de cuenca hidrográfica o acuífero que tome decisiones autónomas en beneficio de los estados miembros. Es de esperar que este último mecanismo tenga una fuerte sinergia con los gobiernos nacionales.

6. Aguas subterráneas y ambiente

Tipos de ecosistemas que dependen de las aguas subterráneas

Una manera de clasificar los ecosistemas asociados con las aguas subterráneas es según su ambiente geomorfológico (acuático, terrestre, costero, etc.) y el respectivo mecanismo de flujo del agua subterránea (profunda o somera). Sobre esta base se reconoce una cantidad de diferentes clases (la Figura 3.4A-E presenta las más importantes).

Proporcione un ejemplo de su país de un ecosistema degradado que dependa de aguas subterráneas.

Los pantanos en tierras altas alimentados por agua superficial forman zonas naturales de recarga de acuíferos y deben ser tenidos en cuenta ya que su integridad puede verse amenazada por una excesiva extracción de agua subterránea. A menudo habrá dudas al intentar definir si estos ecosistemas estrictamente "dependen del agua subterránea" o si solo "usan agua subterránea" (es decir, si pueden sobrevivir sin acceso al nivel freático o a la descarga de agua subterránea).

Los ecosistemas asociados con las aguas subterráneas son afectados de forma directa (aumento de la extracción de agua) o indirecta (aumento de la carga contaminante) por la presión del desarrollo agrícola y urbano. Así, un asunto importante en relación con la implementación de la gestión de las aguas subterráneas es el de la protección de los ecosistemas que de ellas dependen.

Gestión ambiental y de aguas subterráneas

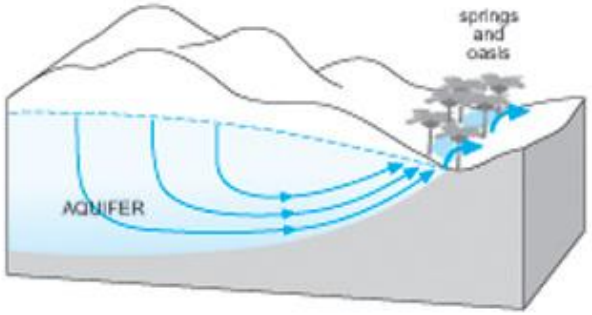
Es de fundamental importancia para la gestión de las aguas subterráneas tener en cuenta su interacción con el ecosistema.

En este sentido, las opciones a considerar son similares a las de la gestión de los recursos hídricos superficiales:

- Controlar la extracción/asignación mediante la incorporación de criterios que permitan mantener los niveles del agua subterránea y conservar su calidad a fin de satisfacer los requisitos del ecosistema receptor.

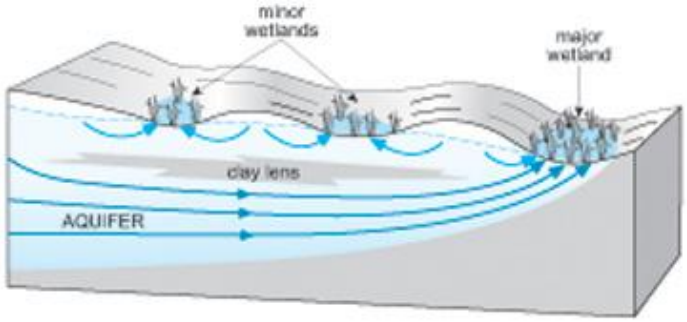
¿Qué se puede hacer para proteger a los ecosistemas que dependen de las aguas subterráneas?

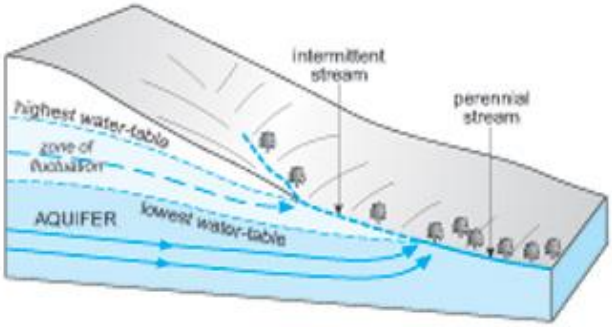
Fig. 3.4: Principales clases de ecosistemas relacionados con las aguas subterráneas y los respectivos regímenes de flujo del agua subterránea (Nota Informativa 15 de GW-Mate)



(A) ECOSISTEMAS DE HUMEDALES EN REGIONES ÁRIDAS
Dependen del sistema profundo de flujo del agua subterránea, a veces solo con una limitada recarga contemporánea y flujo de agua subterránea fósil.

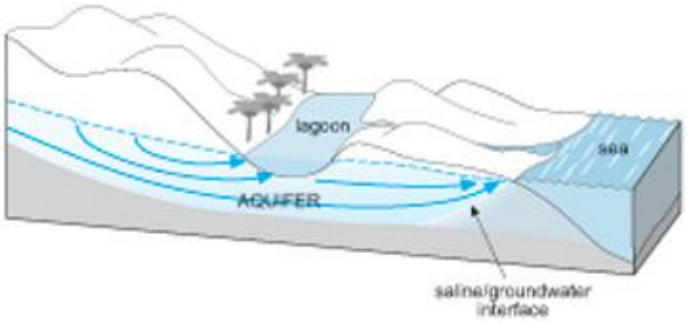
(B) ECOSISTEMAS DE HUMEDALES EN REGIONES HÚMEDAS
Un ecosistema puede depender del (o usar) agua subterránea de diferentes profundidades en un sistema de flujo de un acuífero de múltiples capas.

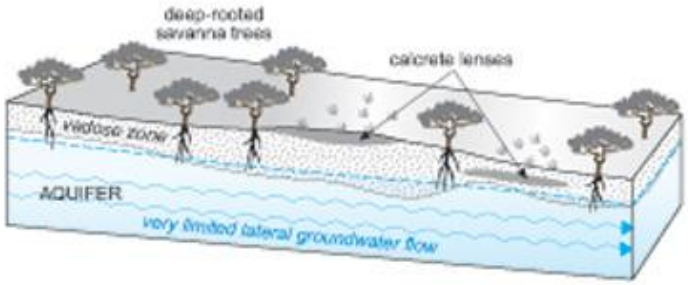




(C) ECOSISTEMAS ACUÁTICOS EN EL LECHO DE CAUCES EN REGIONES HÚMEDAS
Ecosistemas variables a lo largo del tramo superior del sistema hidrográfico alimentado en parte por una descarga perenne de agua subterránea y en parte por flujos subterráneos intermitentes.

(D) ECOSISTEMAS DE LAGUNAS COSTERAS
Dependen de agua levemente salobre generada por la combinación de descargas de agua dulce del acuífero y limitadas intrusiones de agua de mar durante mareas excepcionalmente altas.





(E) ECOSISTEMAS TERRESTRES EN REGIONES ÁRIDAS
Ecosistemas de sabana que dependen de arbustos y árboles de raíces excepcionalmente profundas que captan agua directamente del nivel freático o de su franja capilar (distribución limitada por el espesor y el grado de consolidación de los sedimentos en la zona vadosa).

Puede plantearse un debate sobre la necesidad de lograr un equilibrio entre los medios de vida en zonas rurales y la salud del ecosistema.

- Definir “zonas de protección” en las cuencas de captación: proteger a los ecosistemas de humedales asegurando la calidad del flujo de aguas subterráneas someras hacia los humedales y reduciendo el grado de interferencia con el nivel del agua subterránea.
- Recarga artificial del acuífero para complementar el flujo de agua subterránea y mejorar su calidad en áreas limitadas en beneficio de la conservación de los humedales; o incluso bombeo de caudales de compensación desde los acuíferos hacia los humedales cuando el nivel del agua subterránea se encuentre por debajo de un nivel crítico.

7. Resumen

Las conclusiones clave de este módulo son:

- Las condiciones tanto hidrogeológicas como socioeconómicas tienden a ser específicas de cada lugar.
- Donde haya una conexión física, el agua superficial (incluidas las escorrentías) y el agua subterránea deben administrarse como un único recurso.
- Los regímenes de asignación deben dar por sentado que la conectividad entre el agua superficial (incluidas las escorrentías) y el agua subterránea existe a menos que se demuestre lo contrario.
- El avance hacia enfoques de agua más integrados y sostenibles suele comenzar con medidas para enfrentar desafíos hídricos concretos y urgentes. De hecho, si bien tales medidas se originan en la necesidad de ocuparse de un desafío específico, pueden ser útiles para hacer frente a futuros desafíos hídricos y de desarrollo de una manera más integrada.
- Los asuntos que generan cambios en las medidas de gestión de los recursos hídricos tienen una vinculación muy estrecha con el modo en que se administra el agua (rural/urbana). Por lo tanto, administrar la explotación del agua para diferentes propósitos es un punto de acceso clave para practicar la gestión de las aguas subterráneas.
- La participación de las principales partes interesadas es un principio importante para un enfoque de gestión eficaz y sostenible.
- La necesidad de desarrollar capacidades, tanto entre las autoridades hídricas como entre los usuarios, es otro elemento de clave para implementar medidas de gestión.

Referencias y lecturas en la web

Cap-Net, 2005, Manual de Planes de la GIRH. http://www.cap-net.org/node/1515

Cap-Net, 2008, GIRH para organizaciones de cuenca hidrográfica: manual de capacitación, http://www.cap-net.org/node/1494

GW•MATE, 2002-2006, Notas Informativas 0, 10, 11 y 15. http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,contentMDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:4602123,00.html

GWP, 2004. Catalyzing Change: A handbook for developing integrated water resources management (IWRM) and water efficiency strategies. ISBN: 91-974559-9-7. www.gwpforum.org/gwp/library/Catalyzing_change-final.pdf

GWP, 2006. Technical brief 1, Checklists for change: Defining areas for action in an IWRM strategy or plan. http://www.gwpforum.org/servlet/PSP?iNodeID=215&itemId=484

Hiscock, K. M., Rivett, M. O. y Davidson, R. M., 2002. Sustainable groundwater development. Geological Society, London, Special Publications 2002; v. 193; p. 1-14. doi:10.1144/GSL.SP.2002.193.01.01

Toth, J., 1963. A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins: p. 75–96 en Proceedings of Hydrology Symposium No. 3, Groundwater, Queen's Printer, Ottawa, Canada

Ejercicio

Juego de roles: 90 minutos
Antecedentes: Ud. es un empleado de una organización de cuenca hidrográfica (OCH) encargado de la elaboración del plan de la cuenca. La cuenca tiene un buen grado de desarrollo con agricultura comercial y dos centros urbanos con industrias. Hay comunidades dispersas que se dedican a actividades agrícolas de subsistencia. El río es estacional y muchas personas utilizan agua subterránea pero su disponibilidad no es bien conocida. Para su funcionamiento la OCH depende de los ingresos provenientes de la venta de agua, por lo cual su presupuesto es limitado.
Tarea: Designar tres participantes para desempeñar los roles de CEO y dos delegados. Serán responsables de liderar el grupo y de asegurar que se complete la tarea. El resto de los participantes se desempeñará como personal auxiliar (ingenieros, hidrogeólogos, personal de monitoreo, asignación, finanzas, control de la contaminación y planificadores). Al concluir el tiempo asignado, Ud. debe

a) presentar la página de contenidos del plan (versión preliminar) que cumpla con los ideales de un enfoque de GIRH y que integre claramente las aguas subterráneas y las aguas superficiales; y
b) describir el proceso de cómo Ud. recopilará información para elaborar el plan para la cuenca.

Módulo 4: Legislación y regulación del agua subterránea

Objetivos de aprendizaje:

- Valorar la necesidad de una legislación de aguas subterráneas y su integración con la legislación de los recursos hídricos superficiales.
- Comprender los componentes clave de la legislación hídrica.
- Considerar los acuerdos institucionales necesarios para la gestión de las aguas subterráneas.

1. ¿Por qué debe haber una legislación de aguas subterráneas?

Entre otros asuntos, la legislación de las aguas subterráneas es necesaria para regular su explotación, limitar las actividades que puedan comprometer su disponibilidad y calidad, y para resolver la competencia y los conflictos entre usuarios y la amenaza creciente de contaminación del agua subterránea.

Algunos países cuentan con diferentes instrumentos legales para regular el agua mientras que en otros es posible que no exista legislación alguna. Las reformas encaradas para alcanzar un uso más sostenible de nuestros limitados recursos hídricos han contribuido enormemente a abordar muchos de los asuntos problemáticos de la gobernabilidad del agua. Sin embargo, a menudo el agua subterránea no ha sido debidamente tratada en la legislación o aún puede haber problemas de disposiciones legislativas dispersas y a veces en conflicto. Cada vez más se reconoce que el agua subterránea y el agua superficial tienen un impacto mutuo y que es necesaria una mayor integración de las disposiciones legales sobre los recursos hídricos.

Una legislación integrada proporciona una base legal para la gestión efectiva y sostenible de las aguas subterráneas y superficiales a través de:

- pautas para y limitaciones al ejercicio de los poderes públicos;
- previsiones para la cuantificación, planificación, asignación y conservación de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos), incluida la extracción del agua y los derechos de uso;
- un sistema de permisos de descarga de aguas residuales que ayude a proteger

Tabla 4.1: Resumen de los conceptos legales básicos y alcance de la legislación de aguas (Nota Informativa 4 de GW-Mate)

Derecho Consuetudinario (no escrito)	Se considera que la costumbre se establece por: ● repetición sistemática de una conducta específica por muchos miembros de la comunidad ● convicción de la comunidad de que dicha conducta corresponde a una 'norma legal'
Legislación (Derecho escrito)	La legislación, teniendo en cuenta la costumbre como comportamiento social aceptado, comprende: ● la ley fundamental o constitución de un país ● las leyes promulgadas por el poder legislativo (parlamento, asamblea nacional) ● legislación subsidiaria (decretos o instrumentos adoptados por el poder ejecutivo) Las leyes promulgadas por el poder legislativo no pueden revocar las disposiciones constitucionales y, a su vez, no pueden ser revocadas ni contradichas por la legislación subsidiaria.
Legislación de aguas	Pretende regular la relación entre las personas (físicas y legales) y entre las personas y la administración del estado con respecto a los recursos hídricos. Incluye todas las disposiciones legales sobre desarrollo, uso, protección y gestión de las aguas subterráneas, que pueden estar diseminadas en varios decretos o incluidas en una ley integral.

el agua (superficial y subterránea) de la contaminación;

- la definición de los deberes y derechos de los usuarios del agua (superficial y subterránea);
- la protección de los derechos de uso, de los derechos de terceros y del ambiente;
- requisitos para el registro y la calificación de los perforadores de pozos;
- la posible intervención administrativa en situaciones críticas (agotamiento del acuífero, sequía o contaminación);
- previsiones para la interacción cooperativa entre los administradores y los usuarios del agua (superficial y subterránea).

2. Conceptos legales básicos

Es importante destacar que en el presente contexto el concepto de "legislación" difiere del de "derecho" (Tabla 4.1). La legislación es la ley escrita, promulgada de acuerdo con los procedimientos consagrados en la constitución, mientras que el derecho abarca tanto la legislación como las normas consuetudinarias que emanan de los usos y costumbres.

La legislación de aguas pretende regular la relación entre las personas (físicas y legales) y entre las personas y la administración del estado con respecto a los recursos hídricos. Incluye todas las disposiciones legales sobre desarrollo, uso, protección y gestión de las aguas subterráneas, que pueden estar diseminadas en varios decretos o incluidas en una ley integral.

3. Evolución de la legislación de aguas subterráneas

La legislación de aguas subterráneas ha

Tabla 4.2: Niveles progresivos de regulación de aguas subterráneas. (Nota Informativa 4 de GW-Mate)

NIVEL DE REGULACIÓN	CONSECUENCIAS	LIMITACIONES
Control legal mínimo	No hay control sobre extracciones de agua subterránea o descargas de aguas residuales	Reducción de la descarga natural del acuífero y/o contaminación y salinización progresivas
Normas consuetudinarias locales	Derechos de agua subterránea definidos a nivel local; mecanismos para resolución de conflictos a nivel local	Controles limitados que no tienen en cuenta el estado del sistema acuífero (ni los impactos sobre el mismo), a los usuarios aguas abajo ni los asuntos de calidad del agua subterránea
Legislación específica sobre aguas subterráneas	Construcción de pozos y extracción de agua subterránea controladas, a menudo por una institución especia-lizada que tiene contacto limitado con las que regulan el agua superficial	Puede suceder que no se tengan en cuenta los flujos de base y los humedales que dependen del agua subterránea; es probable que no se haga demasiado hincapié en la protección de la calidad del agua subterránea
Legislación conjunta de los recursos hídricos	Recursos hídricos superficiales y subterráneos sujetos a una misma legislación y su interdependencia plenamente reconocida; administrados por la misma institución, pero los aspectos relacionados con la calidad suelen depender de una agencia diferente.	Mejora la capacidad de gestión de los recursos hídricos, pero la visión de la cuenca y del control de la contaminación aún pueden ser deficientes; quizá tampoco se tomen en cuenta las preocupaciones de los usuarios por lo que no se conseguiría su apoyo proactivo
Legislación de recursos hídricos completamente integrada*	Aspectos de calidad y cantidad integrados en el enfoque de cuenca o acuífero; mayor énfasis en la conciencia pública y en la participación de los usuarios del agua/partes interesadas (se reconoce la naturaleza internacional de algunos acuíferos y cuencas)	Es la mejor opción para poder implementar una política de regulación equilibrada y efectiva

evolucionado desde distintas tradiciones y derechos. El derecho romano, la tradición del Código Civil francés o Código Napoleónico (que incluye a Francia, España y muchos países africanos y latinoamericanos) y el derecho consuetudinario inglés tradicional se encuentran entre las legislaciones más antiguas. Sus principios fueron heredados, a veces con importantes modificaciones, por países de esas regiones.
En países que seguían el sistema del código civil y la tradición del derecho consuetudinario, el régimen legal de las aguas subterráneas dependía en gran parte del régimen legal de las tierras suprayacentes; es decir, a la propiedad privada de la tierra le correspondían derechos de agua subterránea privados e ilimitados.

Algunas comunidades aplicaron efectivamente derechos consuetudinarios locales y variables, tales como los principios de los países musulmanes sobre la propiedad del agua ("regalo de Dios" que no puede ser de propiedad privada). Sin embargo, estas costumbres, por lo general, no tenían en cuenta los intereses más amplios de los acuíferos ni los de los usuarios de aguas abajo.

No obstante, más tarde se introdujo en forma generalizada (aunque no universal) una legislación más abarcadora (Tabla 4.2). En la mayoría de los países, la regulación del agua superficial está más avanzada que la del agua subterránea, tanto en materia de leyes como en la práctica. El reconocimiento de que las aguas superficiales y las subterráneas son un único y mismo recurso y las presiones para lograr un uso más sostenible y equitativo en beneficio de la sociedad están llevando a un mayor control legislativo y regulador sobre las aguas tanto superficiales como subterráneas.

Tabla 4.3: Aspectos de la administración pública que requieren de disposiciones legales específicas para facilitar la gestión de las aguas subterráneas (Nota Informativa 4 de GW-Mate)

ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA	
• Autoridad nacional o comisión coordinadora interministerial • Agencias provinciales y/o de la cuenca	• procedimientos para la interacción con autoridades locales • organizaciones de gestión de acuíferos • asociaciones de usuarios del agua • permisos para perforadores de pozos
(NIVEL NACIONAL)	**(NIVEL MÁS BAJO POSIBLE*)**
PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA	**MANEJO DEL USO DE LA TIERRA**
• disposiciones para la evaluación del recurso acuífero/ su vulnerabilidad • diseño e implementación de políticas de las aguas subterráneas a nivel nacional, regional y de cuenca • definición de la política de áreas protegidas (conservación o monitoreo) • mandato para acciones en caso de emergencia o sequía • estado de la planificación de las aguas subterráneas y de las prioridades de uso	• procedimientos para las zonas de aguas subterráneas protegidas • disposiciones para la conservación de la zona de recarga del acuífero
	REGULACIÓN DE LOS USOS DEL AGUA
	• administración de los derechos de extracción/uso • administración de los permisos de descarga de aguas residuales • fomento de asociaciones de usuarios/ partes interesadas • procedimientos de sanción y apelación
*** Depende del tamaño del país o de otros factores.**	

4. Componentes de la legislación

En términos generales, una legislación moderna sobre aguas subterráneas debe ser flexible, factible y aplicable. Por ello se recomienda que la **legislación básica** se restrinja a los conceptos y poderes fundamentales y que los detalles se aborden en regulaciones y planes de implementación asociados. También proporciona una visión más unificada de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, pero las características particulares de los sistemas de aguas subterráneas y su estrecha relación con el uso de la tierra exigen disposiciones legislativas específicas en diferentes áreas administrativas y en distintos ámbitos territoriales (Tabla 4.3). La mayoría de tales disposiciones son iguales a las establecidas para la gestión de los recursos hídricos superficiales y, cuando corresponda, tiene sentido que se incluyan en una disposición legislativa. Es muy probable que las diferencias entre aguas superficiales y subterráneas sean más evidentes en los sistemas y las herramientas de gestión adoptadas, así como en la importancia que se asigne a las disposiciones. A continuación se analizan en detalle algunas de estas disposiciones específicas.

- **Derechos de extracción y uso de agua subterránea**
  Entre otras cosas, los derechos de agua (superficial y subterránea) sirven de base para cobrar la extracción de agua; en algunos países, se pueden comprar y vender.

- **Permisos de descarga de aguas residuales**
  Los permisos de descarga de aguas residuales (en especial las descargas al suelo), que están sujetos al modo de descarga y al nivel de tratamiento, se diseñan para proteger al agua (superficial y subterránea) de la contaminación. El principio de “quien contamina paga” suele está contenido en esta área de la legislación.

- **Sanciones por incumplimiento**
  Las sanciones pueden variar desde multas modestas hasta prisión, de acuerdo con la gravedad de los impactos y la persistencia del delito.

- **Control de la construcción de pozos**
  Otras disposiciones en la legislación de aguas subterráneas hacen a los permisos para empresas dedicadas a la perforación de pozos a fin de asegurar una mejor relación (y flujo de información) con la administración de los recursos hídricos, estándares más altos en la construcción de pozos, informes más completos y precisos sobre las condiciones hidrogeológicas encontradas y una disminución en la construcción de pozos ilegales. La legislación hídrica también puede introducir controles a la importación de bombas y equipo de perforación en un esfuerzo por restringir la extracción excesiva de agua subterránea.

- **Planificación a nivel de acuífero o de cuenca**
  La legislación hídrica tiende a prever la planificación de los recursos hídricos en referencia a cuencas de agua superficial y/o sistemas de acuíferos. Sobre la base del inventario de los recursos hídricos y de los usos existentes, los planes proporcionan un fundamento integrado para evaluar las solicitudes de derechos de agua. Por lo general, los planes son de naturaleza vinculante, y las decisiones que se tomen sobre las solicitudes deben ser conforme a sus disposiciones.

- **Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas**
  Al reconocer las ventajas del uso conjunto del agua, un único permiso podría cubrir tanto la extracción de agua subterránea como la descarga de un efluente de calidad aceptable en un curso de agua superficial, o la derivación y el uso de agua superficial en conjunto con la recarga con un efluente de calidad aceptable en el suelo.

- **Ordenamiento territorial para la conservación y protección de las aguas subterráneas**
  En algunos países, la legislación prevé que los administradores de recursos hídricos declaren “áreas especiales de control” para poder tomar medidas excepcionales (tales como restricciones a nuevas perforaciones y/o tasas de extracción de agua subterránea) a fin de evitar un mayor deterioro del acuífero. El ordenamiento territorial también puede

apuntar a proteger las zonas de recarga de acuíferos vulnerables y/o las fuentes de abastecimiento de agua subterránea. En las zonas definidas por el ordenamiento territorial se pueden aplicar restricciones a actividades potencialmente contaminantes (tales como ciertos tipos de urbanización, disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios, instalaciones de almacenamiento y manejo de productos químicos peligrosos, minería y extracción de materiales de construcción, etc.). Para la prevención de la contaminación difusa debido al uso agrícola de la tierra, se suelen aplicar restricciones o mecanismos de control a la importación de ciertos pesticidas y promover la adopción de códigos de buenas prácticas agrícolas.

③ **Facilitación de la participación de usuarios del agua y de las partes interesadas**

La participación de los usuarios del agua (superficial y subterránea) y de otras partes interesadas en la gestión de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) (Módulo 7) es un tema de importancia creciente para los legisladores, quienes advierten que es más probable que las disposiciones legales se implementen cuando las partes interesadas pueden influir en las decisiones. Además de las asociaciones locales de usuarios del agua, es posible que para grandes acuíferos se necesiten "organizaciones de gestión de acuíferos" con mayor representatividad para:

- discutir sobre la implementación de medidas con todos los sectores de usuarios y entre asociaciones de usuarios del agua
- acordar acciones prioritarias en áreas donde las aguas subterráneas se encuentren en una situación crítica
- apoyar al ente regulador de los recursos hídricos, por lo general en la administración de la extracción del agua subterránea.

Es importante otorgar personería jurídica a estas organizaciones e integrarlas en mecanismos institucionales más amplios para la gestión y protección de las aguas subterráneas.

③ **Disposiciones para el monitoreo de las aguas subterráneas**

La legislación hídrica (aguas superficiales y subterráneas) debería prever el monitoreo del estado (cantidad y calidad) de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) y del uso del agua asignando esta tarea a la administración de los recursos hídricos en el ámbito territorial adecuado. Para que sea efectiva, esta legislación debería establecer requisitos realistas que tengan en cuenta los recursos existentes y la capacidad institucional.

5. Acuerdos institucionales

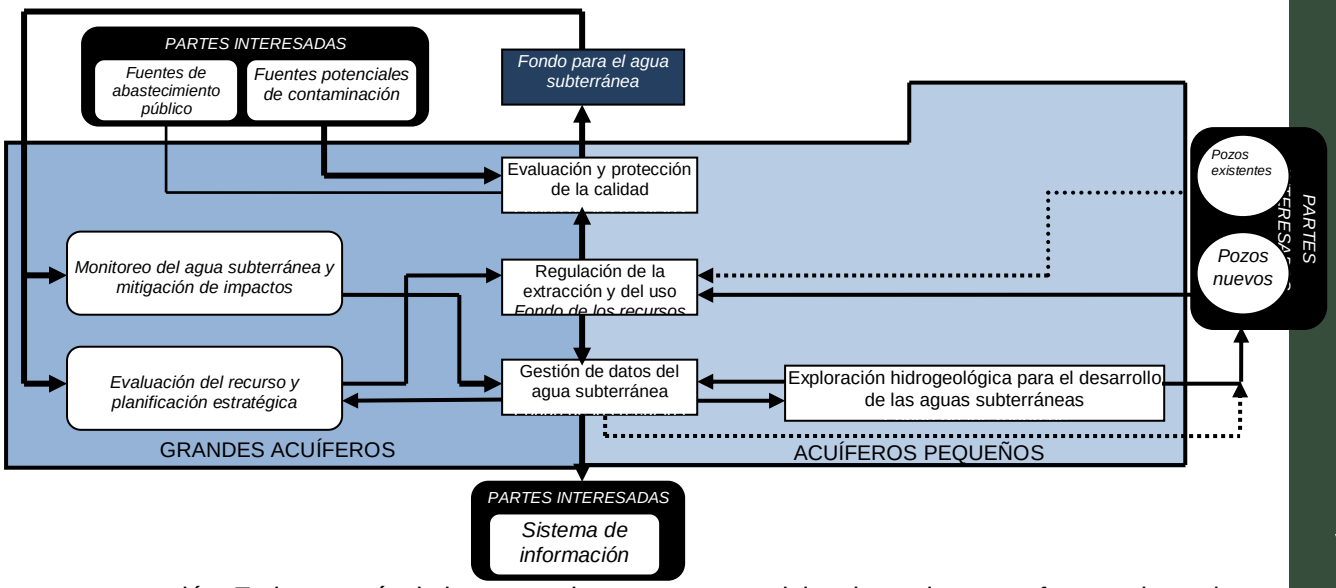
La legislación hídrica debe garantizar que se establezca un ambiente propicio para la gestión efectiva de los recursos hídricos, incluidas las aguas subterráneas. Los acuerdos institucionales para la gestión aportarán claridad a los roles y responsabilidades de las instituciones nacionales y/o provinciales responsables de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) y definirán las maneras de hacer frente a las posibles restricciones al proceso de gestión, tales como límites inadecuados a la gestión de las aguas subterráneas, débil cumplimiento de la regulación, falta de consenso social y pobre coordinación interinstitucional.

Rol del estado

Dados los problemas creados por la creciente escasez y contaminación del agua, se ha generalizado la promulgación de leyes con el objeto de reconocer al estado el derecho superior en la gestión de los recursos hídricos. La declaración de las aguas subterráneas como "bien público" convierte al anterior propietario en usuario, quien debe solicitar a la administración del estado un derecho de uso y extracción de agua. Una vez que el estado es el guardián o custodio de las aguas subterráneas puede (además de conceder derechos de agua) introducir medidas para evitar el agotamiento del acuífero y la contaminación de las aguas subterráneas. Además, actualmente las legislaciones suelen exigir la planificación de los recursos hídricos a nivel de acuífero o cuenca.

En la Figura 4.1 se muestran la estructura y las funciones idealizadas de una agencia gubernamental que actúa como custodia de las aguas subterráneas según sugiere GW-Mate. Solo en el caso de acuíferos muy grandes existe la posibilidad de que se establezca una organización independiente

Figura 4.1: Estructura y funciones idealizadas de una agencia gubernamental que actúa como custodia de las aguas subterráneas (Foster y Kemper, 2002-06)



para su gestión. En la mayoría de los casos, la gestión de las aguas subterráneas estará completamente integrada en organizaciones con responsabilidad tanto por el agua superficial como por el agua subterránea. Este tipo de organización permite corregir el histórico problema de la gestión de las aguas subterráneas que recibe atención inadecuada.

Implementación de la legislación de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos)

La implementación exitosa de la legislación de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) depende de diversos factores, entre ellos:

- mecanismo administrativo y nivel de capacitación de los administradores de los recursos hídricos
- clara comprensión de los roles y las funciones institucionales a todos los niveles relevantes (Tabla 4.4)
- adecuado nivel de conciencia y aceptación pública de las disposiciones legales
- voluntad política para promover y lograr la gestión sostenible de las aguas subterráneas.

La legislación de las aguas subterráneas debe prescribir un sistema administrativo adecuado a las condiciones nacionales o estatales:

- a nivel nacional: las funciones de gestión (que cubran aspectos cualitativos y cuantitativos) d estar en manos de una única autoridad o ministerio o, si esto no fuere adecuado, se deben establecer claros mecanismos institucionales para la coordinación entre los organismos competentes;
- a nivel regional o de cuenca: la situación específica puede justificar la creación de organismos de cuenca, especialmente para desempeñar algunas funciones de planificación y coordinación;
- a nivel intermedio o local: es importante prestar suma atención a los acuerdos institucionales locales para la administración de los recursos hídricos, al rol de las autoridades locales en la gestión de los recursos hídricos (ya que representan los intereses locales) y a la creación de instituciones intermedias (organismos de gestión de acuíferos) con poder legal sobre acuíferos específicos, con adecuada representación de las distintas asociaciones de usuarios del agua y de diversos sectores usuarios del agua y con una relación clara con la administración de los recursos hídricos.

Hay que reconocer que se suele fracasar en la aplicación algunas disposiciones de la legislación y las regulaciones de los recursos hídricos. Un buen ejemplo es el control de la contaminación. Tal fracaso se debe a muchas razones, pero una que es común es la

deficiente confección de la legislación que no responde a la realidad social y económica del país. Por lo tanto, es importante que los profesionales de los recursos hídricos estén involucrados en todas las etapas del desarrollo de la legislación.

Tabla 4.4: Roles institucionales y función clave de la gestión de los recursos hídricos (modificado de acuerdo con la Nota Informativa 4 de GW-Mate)

Función clave	Actividad principal	Roles institucionales			
		Autoridad nacional del agua/OCH	Ente regulador local	Oficinas de gestión de acuíferos/ subcuencas	Asociaciones de usuarios del agua
FORMULACIÓN DE POLÍTICAS Y PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA					
	− Evaluación de recursos	•	×	×	
	− Evaluación del uso y relevamiento socioeconómico		•	×	×
	− Planificación estratégica a largo plazo	•	×	×	
	− Acuerdos internacionales	•			
GESTIÓN/REGULACIÓN DEL RECURSO					
Participación de las partes interesadas	− Desarrollar y mantener un activo proceso de participación de las partes interesadas a través de periódicas actividades de consulta. − Brindar asesoramiento especializado y asistencia técnica a autoridades locales y a otras partes interesadas en la GIRH.	•	• •	×	
Control de la contaminación	− Permisos de descarga de aguas residuales	•	•	×	×
	− Identificación de los principales problemas de contaminación	•	•	×	×
	− Definición de áreas protegidas	•	•	×	×
Asignación del agua	− Administración de los derechos de agua / Permisos para usos del agua incluida su puesta en vigor	•	•	×	×
	− Autorización de implementadores de desarrollo; por ejemplo, perforadores de pozos	•	×		
Gestión de la información	− Definir los productos de información que requieran los administradores de los recursos hídricos y las partes interesadas de una cuenca.	•	•	×	×
	− Organizar, coordinar y administrar las actividades de gestión de la información.	•	•	×	
Herramientas económicas y financieras	− Determinar tarifas y cargos para uso del agua y contaminación	•	•	×	

Función clave	Actividad principal	Roles institucionales			
		Autoridad nacional del agua/OCH	Ente regulador local	Oficinas de gestión de acuíferos/ subcuencas	Asociaciones de usuarios del agua
Planes de acción de la cuenca	− Realizar un análisis de la situación con las partes interesadas	●	●	×	
	− Evaluar futuros desarrollos en la cuenca	●			
Situaciones de emergencia	− Medidas estructurales y no estructurales para mitigación de inundaciones y sequías	●	×	×	×
	− Preparación para casos de desastre		●	●	×
Monitoreo y cumplimiento	− Relevamiento del estado del agua/base de datos (cantidad / calidad / socioeconómico)	●	●	×	×
	− Uso del agua y contaminación	●	●	×	×
	− Resolución de conflictos	●	●	×	
MONITOREO Y EVALUACIÓN					
	− Actividades de recopilación de datos de agencias múltiples	●	×	×	×
	− Comunicación frecuente con las partes interesadas	●			
	− Información organizada de modo que sea fácil de comprender para el grupo objetivo y que verse sobre sus necesidades o preocupaciones	●			

●, **X** indican, respectivamente, responsabilidad de y participación en la función de gestión correspondiente, pero la situación variará de país a país, dependiendo de su extensión geográfica y estructura política.

Referencias y lecturas en la web

GW•MATE, 2002-2006, Nota Informativa 4. http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,contentMDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:4602123,00.html

Stephen Foster y Karin Kemper, 2002-2006. Sustainable Groundwater Management: Concepts and Tools. Sustainable Groundwater Management. Concepts & Tools Series Overview http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,contentMDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:4602123,00.html

Módulo 5: ASIGNACIÓN DE DERECHOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

Objetivos de aprendizaje:

- Crear conciencia acerca de los beneficios de un sistema de derechos de agua subterránea.
- Comprender cómo se puede implementar un sistema de derechos del agua subterránea.
- Comprender las principales interacciones en un sistema de derechos de agua subterránea.
- Comprender la necesidad de vincular un sistema de derechos de agua subterránea con un sistema de derechos de agua superficial.

1. Introducción

Históricamente, los recursos hídricos se han asignado en función de criterios sociales que aseguraran la disponibilidad del agua para consumo humano, saneamiento y producción de alimentos. En muchos países el crecimiento de la población ha convertido a la escasez del agua en un problema importante. Además, hoy en día la contaminación está más generalizada y la degradada calidad del agua trae aparejada una menor disponibilidad de agua dulce. Como consecuencia, su uso es más competitivo: agua potable, riego, industria, ambiente, etc.

En la actualidad, en la mayoría de los países los recursos hídricos son un bien público y el gobierno tiene la responsabilidad global de su gestión. El derecho de extraer o derivar y usar el agua (incluidas las aguas subterráneas) puede concederse a individuos, entidades públicas o corporaciones privadas bajo ciertos términos y condiciones, y dichos derechos generalmente son emitidos por la autoridad hídrica o directamente por los tribunales de justicia. Un “derecho de agua” generalmente es el derecho a usar (pero no poseer) el agua. Las concesiones para extraer y usar agua subterránea se instrumentan a través de permisos, licencias, o autorizaciones que, en el presente documento, se engloban bajo el término “derechos del agua”.

2. ¿Por qué se necesita un sistema de derechos de agua subterránea?

Un sistema de derechos del agua subterránea (permisos para extraer y usar el agua subterránea) debe regular las interdependencias entre los usuarios (Cuadro 5.1). Con frecuencia inicialmente se lo adopta como un medio para:

- reducir la interferencia entre pozos;
- evitar conflictos contraproducentes; y
- resolver las controversias que surjan entre extractores vecinos.

No obstante, el desarrollo de un sistema estable de derechos de agua ofrece beneficios muchos más amplios, ya que proporciona una base sólida para la explotación y protección de los recursos hídricos y para la conservación de los ecosistemas acuáticos. Además, solo si los derechos de agua subterránea han sido adecuadamente definidos es posible dar otros pasos para una gestión más integrada de los recursos hídricos, a saber:

- fomentar la participación de los usuarios en la gestión de las aguas subterráneas;
- mejorar la eficiencia económica;
- implementar programas de gestión de la demanda para reducir la extracción de agua subterránea;
- recaudar de forma sistemática cargos (o cánones) por extracción para obtener ingresos para la gestión de los recursos;
- posible (posterior) compra-venta de derechos de extracción para promover un uso más eficiente del agua;
- desarrollar el uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas.

La existencia de un derecho de agua

Cuadro 5.1: Interdependencias entre usuarios

- El bombeo de agua subterránea por un usuario puede hacer descender el nivel freático e incrementar los costos de bombeo para todos los usuarios.
- La contaminación causada por un usuario afecta a otros, especialmente a los que están ubicados aguas abajo.
- Tal interdependencia sugiere que si todos los usuarios respetan las normas, se incrementa el valor social de los recursos hídricos.

subterránea no puede garantizar un suministro de agua de cierta cantidad y calidad, por lo que se debería considerar la posibilidad de expresar el derecho en términos de una "parte alícuota de la capacidad de producción del acuífero" (a diferencia de una tasa de extracción específica). Sin embargo, estos derechos ofrecen a los usuarios del agua mayor seguridad del suministro para fines de inversión y un activo valioso como garantía colateral para obtener créditos para desarrollo.

3. ¿Qué implica un sistema de derechos de agua subterránea?

Los derechos de extracción y uso del agua deberían ser parte de un sistema integral y unificado que comprenda las aguas tanto superficiales como subterráneas. Parte del sistema debería incluir detalles suficientes como para minimizar conflictos entre usuarios y especificar las condiciones bajo las cuales se extrae el agua subterránea, lo que puede incluir el tiempo, la tasa, el volumen y la prioridad que corresponda en casos de escasez.

Sin embargo, los usuarios deberían gozar de una razonable seguridad en la continuidad de su derecho a extraer y usar el agua subterránea en aras de la estabilidad y del fomento de las inversiones. De este modo, debería haber mecanismos judiciales o de revisión apropiados para permitir que los usuarios del agua subterránea y demás afectados por los impactos puedan objetar e impugnar decisiones.

La Tabla 5.1 resume las principales condiciones que suelen especificarse para los derechos de extracción y uso del agua subterránea.

Tabla 5.1: Términos y condiciones generalmente especificados en los derechos de extracción y uso del agua subterránea (Nota Informativa 5 de GW-Mate)

TÉRMINO O CONDICIÓN	COMENTARIOS
● Duración del derecho	Para que la asignación sea flexible se requiere de algún límite de tiempo (por ejemplo, 5 años)
● Punto de extracción y uso	Deberían estar especificados y pueden ser diferentes
● Propósito de uso	Importante para diferenciar los derechos de uso consuntivo y no consuntivo
● Tasa de extracción	Especificar el valor máximo anual y cualquier límite a corto plazo
● Especificación de obras	Detalles de profundidad, diámetro, terminación, protección sanitaria, etc.
● Requisitos ambientales	Especificar datos relativos a ubicación / calidad del flujo de retorno
● Costo del derecho	Tarifa a abonar por mantener y/o ejercer el derecho
● Registro de transacciones	Obligación de declarar la transferencia de derechos (cuando esto se permita)
● Pérdida o reducción del derecho	Confiscación sin compensación por falta de uso o incumplimiento
● Suspensión del derecho	Como sanción o en caso de emergencia sin compensación
● Revisión del derecho	Ajuste periódico con compensación según la oferta y la demanda
● Renovación del derecho	Facilidad para solicitar su prórroga antes del vencimiento

4. Asignación del agua subterránea

4.1 ¿Cuáles son los principales criterios de asignación?

Los objetivos de la asignación del agua deben ser claros y tener en consideración factores económicos, sociales y ambientales. Se necesitan los medios apropiados para lograr la óptima asignación del recurso. Son varios los criterios que se utilizan en la asignación del agua (Howe et al., 1986):

- Flexibilidad en la asignación mediante revisiones periódicas para que el recurso pueda reasignarse de un uso a otro, de uno a otro lugar, para más beneficios sociales, usos económicos y ambientales y para evitar la asignación a perpetuidad.
- Seguridad de posesión para los usuarios establecidos, de modo que tomen las medidas necesarias para hacer un uso eficiente del recurso; la seguridad no está en conflicto con la flexibilidad siempre que haya una reserva del recurso disponible para satisfacer demandas inesperadas.
- Previsibilidad del resultado del proceso de asignación del recurso, de modo de permitir su mejor asignación y minimizar la incertidumbre (especialmente para los costos de transacción).
- Percepción de la equidad del proceso de asignación del recurso, para lo cual debe proporcionar las mismas ganancias de oportunidad a todos los usuarios potenciales.
- Aceptabilidad política y pública a fin de que la asignación ofrezca valores y objetivos y, por lo tanto, goce de la aceptación de distintos segmentos de la sociedad.
- Eficacia, de manera que la asignación corrija las situaciones no deseables existentes, tales como agotamiento y contaminación del agua subterránea, y que avance en pos de los objetivos de política deseados.
- Sostenibilidad y factibilidad administrativa para implementar el mecanismo de asignación y permitir la continuidad y la expansión de la política.

4.2 ¿Cómo se pueden administrar los derechos de agua subterránea?

Los derechos de agua subterránea deben incluirse junto con la gestión de las aguas superficiales dentro de un único sistema de asignación del agua. Allí donde, por distintos motivos, los sistemas de administración estuvieren separados, se deberá intentar integrarlos o, si fuera necesario, se introducirán mecanismos para su coordinación. De esta manera, al asignar los recursos hídricos se tendrán en cuenta las interacciones físicas entre los cuerpos de agua. Como resultado, entre las responsabilidades del organismo que administra las aguas subterráneas se incluirá lo relativo a la recarga del acuífero.

¿A qué nivel se requiere a los usuarios que soliciten permisos a las autoridades competentes? ¿Se aplican tales procedimientos?

Se debe fomentar el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, y los sistemas de administración deben asegurar que:

- los límites de uso aceptable del agua subterránea estén claramente especificados; y
- se determine el orden de prioridad de uso para los usuarios que hacen uso conjunto de ambas fuentes teniendo en cuenta a los usuarios que disponen de una sola fuente.

Tabla 5.2: Consideraciones especiales relativas a la administración de derechos de agua subterránea (Nota Informativa 5 de GW-Mate)

CONSIDERACIÓN	COMENTARIOS
Técnica	
● calidad del agua subterránea	se debe considerar en términos de posibles efectos de nuevas extracciones e impactos de la descarga de aguas residuales
● nivel de conexión con el agua superficial	varía ampliamente y debe tenerse en cuenta al evaluar los efectos sobre terceros y el ambiente
● recarga del acuífero	algunos acuíferos tienen una limitada recarga y el uso de aguas subterráneas fósiles requiere de criterios especiales
● doble uso de algunos pozos	quizá haya que usar los pozos de exploración como pozos de producción de agua ya que la perforación exploratoria es demasiado costosa
Gerencial	
● negocio de la perforación de pozos	regulación paralela en vista de las habilidades especiales que requiere y del peligro de contaminación causado por pozos mal construidos
● flexibilidad en la asignación del agua	la asignación debe tener en cuenta la incertidumbre hidrogeológica y la necesidad de priorizar la reasignación de los recursos para el uso potable
● áreas de conservación de agua subterránea	quizá deban designarse para mitigar la degradación ocasionada por extracción excesiva o amenazas de contaminación
● acuíferos transfronterizos	pueden provocar desacuerdos entre estados/naciones limítrofes respecto del comportamiento y de las prioridades de uso del recurso

La Tabla 5.2 resume los principales puntos a tener en cuenta cuando se administran los derechos de agua subterránea. Se debe evaluar el nivel de conexión con el agua superficial para determinar si afecta a terceros (usuarios aguas abajo), y si permite garantizar el flujo base de los cursos de agua, el mantenimiento de los ecosistemas y la sostenibilidad de los manantiales.

Para asegurar un mejor cumplimiento por parte de los usuarios del agua, se debe fomentar la participación de las partes interesadas (Módulo 7) en paralelo con la gestión de la información (Módulo 11) a fin de brindar transparencia al proceso de asignación. El monitoreo del uso del agua y de los recursos hídricos (Módulo 9) también es fundamental para mejorar la asignación de agua establecida.

Cuadro 5.2 Consideraciones fundamentales:

Complejidades y obstáculos en la implementación:

- Muchas circunstancias históricas, sociales, ecológicas, económicas y políticas influyen en la explotación del agua subterránea.
- El complejo desafío es monitorear el cumplimiento por parte de los usuarios del agua subterránea, prestar atención a la capacidad institucional existente y al rol esencial que los usuarios tienen que desempeñar.

Generar un "ambiente propicio" para la implementación a través de las siguientes acciones:

- Reconocer que la administración de los derechos de agua debe adecuarse a las circunstancias locales específicas.
- Garantizar el apoyo político al nivel más alto, ya que, generalmente, cuando se asignan o reasignan recursos hídricos se afectan poderosos intereses económicos.
- Pensar dos veces antes de solicitar enmiendas legales, para asegurarse de que cualquier deficiencia identificada no se pueda resolver mejor sin recurrir al prolongado proceso de la reforma legal.
- Comenzar con la definición de una política de recursos hídricos, que incluya las razones para una nueva /enmendada legislación de aguas y una reseña de cómo se tratarán los derechos de uso de agua existentes.
- Admitir que lo perfecto es enemigo de lo bueno y que un sistema de derechos de agua subterránea no tiene que ser absolutamente completo, pero sí tiene que ser factible.
- Estar convencido de que siempre habrá oportunidad para mejoras graduales; no es necesario esperar a tener la ley perfecta ni la institución ideal para comenzar a trabajar.
- Aceptar que la tarea no se puede llevar a cabo de la noche a la mañana; la experiencia internacional ha demostrado que el diseño y la implementación de sistemas de derechos de agua siempre es un esfuerzo a largo plazo.
- Involucrar a todos los actores desde el inicio para garantizar que hagan completamente suyo el sistema adoptado; deben participar tanto los sectores de usuarios del agua como el personal gubernamental que administra el sistema.
- Hacer hincapié en que los instrumentos reguladores por sí solos no bastan y que la administración de los derechos de agua requiere de un delicado equilibrio de instrumentos reguladores, económicos y participativos.

Fuente: Batu, 1998

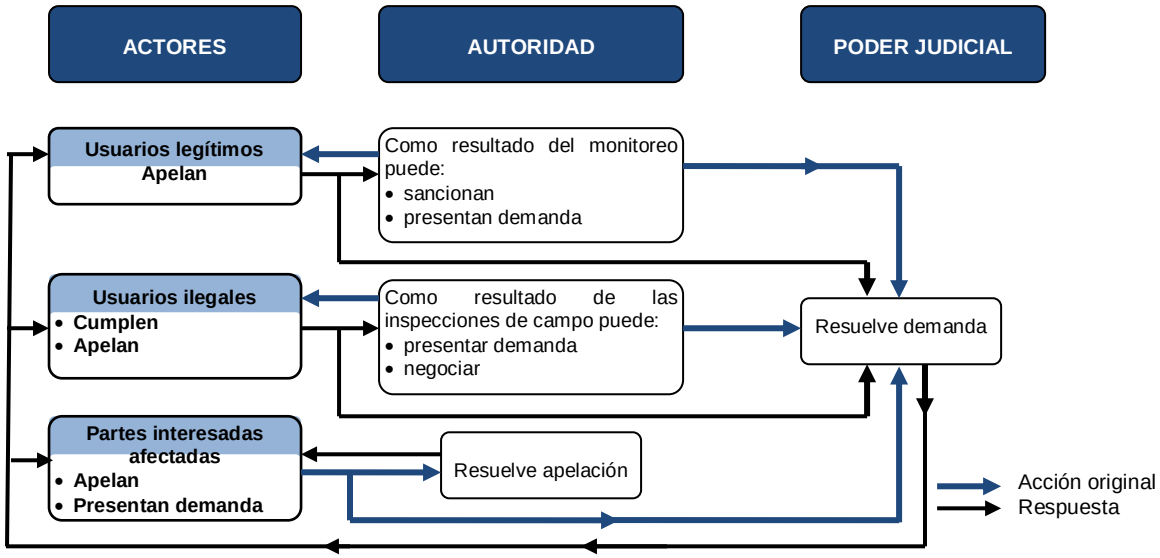
Se requiere una serie de herramientas de implementación, que deben ser lo más sencillas posible:

- Instrumentos de planificación: planillas de cálculo con el universo de usuarios y contaminadores del agua, y modelos de cantidad/calidad de los acuíferos para poder priorizar las áreas que deben controlarse.
- Pautas de gestión: procedimientos para recibir, revisar y monitorear las solicitudes.
- Sistema de información basado en software adecuado para gestionar solicitudes, monitorear el cumplimiento por parte de los usuarios, llevar a cabo controles de calidad operativa y proporcionar a los usuarios información fácil de comprender.
- Educación pública para crear conciencia política y pública en general.

Los aspectos fundamentales a tener en cuenta al implementar la asignación de las aguas subterráneas (Cuadro 5.2) incluyen la complejidad del proceso de implementación, y el ambiente propicio que puede facilitar el cumplimiento por parte de los usuarios.

En Kenia se ha demostrado que alrededor del 90% del agua superficial que se extrae es utilizado por solo el 10% de los usuarios. Por lo tanto, se adoptó un procedimiento paso a

Figura 5.1: Principales interacciones en el establecimiento o en la consolidación de un sistema de derechos de agua subterránea (Nota Informativa 5 de GW Mate)



paso para implementar el sistema de asignación del agua comenzando con la concesión de licencias al 10% de los usuarios más grandes. El resto de los usuarios será considerado posteriormente. Este es el tipo de enfoque práctico que se necesita para asegurar que un sistema sea viable.

4.3 ¿Cuáles son las principales interacciones en la administración de los derechos de agua subterránea?

El actor más importante en la administración de un sistema de derechos de agua subterránea es el solicitante o titular de un derecho de uso de agua (Figura 5.1). Sin embargo, también pueden estar involucrados otros usuarios del mismo acuífero y de las aguas superficiales que de él dependen. Otras partes interesadas (no solo usuarios del agua, sino aquellos cuyos intereses puedan verse afectados) quizás también quieran expresar su opinión sobre una solicitud por un nuevo derecho de agua, presentar una queja o entablar una demanda contra un usuario existente o apelar decisiones.

La autoridad hídrica puede negarle al solicitante un nuevo derecho de agua o lo puede otorgar y registrarlo. Una vez que la solicitud se ha aprobado, el candidato se convierte en usuario legítimo, que a menudo tendrá que pagar tarifas y cargos de acuerdo con los términos y condiciones que correspondan al derecho. La autoridad hídrica debe llevar registros de los derechos y verificar su cumplimiento a través de inspecciones de campo y otros medios. Al descubrir algún incumplimiento, la autoridad podrá emitir una advertencia, imponer una sanción o iniciar una acción judicial si hubiere un delito penal. Además, el sistema judicial podrá atender apelaciones del titular del derecho de agua o de terceros afectados. A fin de aligerar la carga del sistema judicial, las apelaciones podrán dirigirse en una primera instancia al funcionario de más alto rango de la autoridad hídrica.

El *estilo* de gestión es tan importante como el proceso de gestión porque los usuarios prefieren que la autoridad hídrica trabaje con ellos (y no en contra de ellos). Esto se puede lograr al asegurar que:

- Los mecanismos de resolución de conflictos sean bien aceptados, económicos y rápidos.
- Las sanciones tengan el equilibrio necesario como para desalentar el incumplimiento pero sin paralizar a los usuarios.
- El monitoreo sea realista y acorde con la capacidad institucional.
- Los procedimientos de registro garanticen que haya copias completas a disposición del público.
- Se limite la discrecionalidad de la autoridad hídrica para desalentar la corrupción y reducir la burocracia.
- Se resuelvan decididamente los casos de soborno por parte de los usuarios y la corrupción de los administradores.

Cuando se actualiza la legislación hídrica o se adoptan nuevas leyes, surgen dificultades debido a las presiones que ejercen los usuarios existentes y sus socios políticos para que se concedan excepciones. No hay reglas universales, pero los siguientes lineamientos pueden ser útiles.

- Los usos existentes deben ser efectivos y beneficiosos para obtener reconocimiento automático. Si no es posible calcular con precisión el balance del agua subterránea, todos los usuarios deben recibir permisos de corta duración que se podrán revisar cuando se cuente con información más confiable.
- Los derechos consuetudinarios deben tratarse de manera integral, ya sea que se los reconozca formalmente o se los compense adecuadamente.
- No solo los usuarios ilegales tienen la culpa del actual estado insatisfactorio de las aguas subterráneas; también pueden ser responsables anteriores administraciones por falta de capacidad o por tendencias corruptas.
- No se deben tolerar excepciones; todos los usuarios de agua subterránea, incluidas las empresas públicas de suministro de agua, deben estar dentro de lo contemplado por la ley.
- La especificación de umbrales para las tasas de extracción según el uso del agua debería ser un proceso dinámico. Ciertos usos menores pueden quedar exentos de la burocracia de los derechos de agua, pero la simple declaración de su existencia será útil para reconocer a tales usuarios legales

en caso de que eventualmente se necesiten medidas más estrictas.

5. Asignación de aguas subterráneas no renovables

En el caso de sistemas acuíferos no renovables, la implementación de un sistema de derechos de extracción es de suma prioridad. Debe ser coherente con la realidad hidrogeológica**:** nivel decreciente de las aguas, posible rendimiento decreciente de los pozos y posible deterioro de la calidad del agua. Así, los permisos (para tasas específicas de extracción en ubicaciones específicas) deberán tener una duración limitada y también estarán sujetos a una primera revisión y modificación después de 5 a 10 años. Para entonces ya se tendrá más información sobre la respuesta del acuífero a la extracción a través del monitoreo operativo. Es posible que las normas de uso establecidas por organizaciones comunales adecuadamente facultadas puedan sustituir a los permisos de extracción más formales desde el punto de vista legal.

Muchos acuíferos importantes que contienen grandes reservas de agua subterránea no renovable son transfronterizos, ya sea entre naciones o entre provincias o estados autónomos dentro un mismo país. En dichas circunstancias, la armonización de la legislación y las regulaciones relevantes de las aguas subterráneas, en particular los sistemas de derechos de agua subterránea, generará beneficios para todas las partes.

El sistema de asignación del agua debería:

- Prever los impactos de las nuevas asignaciones del agua para los usuarios tradicionales (puede otorgarse algún tipo de compensación);
- Garantizar que queden suficientes reservas extraíbles en el sistema acuífero de calidad aceptable;
- Tener en cuenta las dificultades para estimar los impactos del descenso del nivel de las aguas en un determinado ecosistema;
- Considerar el "¿Y qué pasa después?" e identificar y determinar el costo de una probable "estrategia de salida"; y
- Planificar la reutilización cuidadosamente controlada del agua para uso urbano, industrial, minero y agrícola.

6 Resumen

El módulo ha tratado los siguientes temas:

- Los beneficios de los sistemas de derechos de agua subterránea.
- Los términos o condiciones de los sistemas de derechos de agua subterránea.
- Los criterios a seguir en la asignación de recursos.
- La necesidad de administrar conjuntamente los derechos de agua subterránea y superficial.
- El proceso de implementación de los derechos de agua subterránea en general y de las aguas subterráneas no renovables en particular.

Referencias y lecturas en la web

Ariel Dinar, Mark W. Rosegrant y Ruth Meinzen-Dick, Water Allocation Mechanisms, Principles and Examples.
http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/1997/06/01/000009265_3970909143002/additional/129529322_20041117145112.pdf

Bird, J., W. Lincklaen Arriens y D. Von Custodio, 2008. Water Rights and Water Allocation. Issues and Challenges for the Region. Banco Asiático de Desarrollo.
http://www.adb.org/Documents/events/2008/3rd-NARBO-Meeting/water-rights.pdf

GW•MATE, 2002-2006, Nota informativa 5.
http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,contentMDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:4602123,00.html

Howe, C. W., Schurmeier, D. R. y Shaw, W. D. Jr. 1986. Innovative Approaches to Water Allocation: The Potential for Water Markets. Water Resources Research, 22(4):439-445.

Le Quesne, T., G. Pegram y C. Van De Heyden. 2007. Allocating Scarce Water, A primer on water allocation, water rights and water markets. WWF Water Security Series 1.
http://assets.wwf.org.uk/downloads/scarce_water.pdf

Naciones Unidas, 2000. Principles and practices of water allocation among water-use sectors, Water Resources Series, No. 80, 366 pp.
http://cap-net.org/sites/cap-net.org/files/wtr_mngmnt_tls/78_water_allocation.pdf

Ejercicio

Sistema de derechos y asignación de agua subterránea

Objetivo: Compartir experiencias sobre la implementación y aplicación de sistemas de asignación de agua subterránea

Actividad: Dividirse en tres grupos y debatir durante 45 minutos.

- Analizar cómo implementar un sistema de derechos de agua subterránea y el mecanismo de aplicación en el contexto de un sistema acuífero no renovable.

Presentación de Informes: 30 minutos

Módulo 6: Instrumentos económicos y financieros en la gestión de las aguas subterráneas

Objetivos de aprendizaje

- Comprender la diferencia entre los instrumentos económicos y financieros.
- Entender cómo aplicar los instrumentos económicos y financieros para una mejor gestión de las aguas subterráneas, incluidos:
  Recuperación de costos
  Cambio de comportamiento
  Tratamiento de la equidad y pobreza
  Protección del ambiente

1. ¿Por qué son importantes las consideraciones económicas en la protección y gestión de las aguas subterráneas?

En vista del mejoramiento en la gestión del agua y de la creación de nuevas estructuras de gestión, se está prestando mayor atención a la viabilidad financiera de los sistemas de gestión del agua y al uso de subsidios y tarifas para cambiar la forma en que se utiliza el recurso. Este módulo se enfoca en el uso de instrumentos financieros y económicos en la gestión del agua y en la forma en que los mismos contribuyen a una gestión y a un desarrollo más sostenible del agua subterránea.

Relación entre el agua superficial y subterránea

Si bien los instrumentos económicos para la gestión del agua superficial y subterránea son similares, no son iguales debido a ciertas peculiaridades del agua subterránea:

- costo relativamente alto y complejidad para evaluar el agua subterránea;
- uso altamente descentralizado del recurso, lo que incrementa los costos de monitoreo de la gestión;
- invisibilidad del agua subterránea ante el público en general, y desfases en relación con los impactos en el recurso;
- diferentes impactos de la carga de contaminantes según sea la vulnerabilidad del acuífero;
- desfases prolongados y contaminación casi irreversible de los acuíferos.

Estas peculiaridades explican por qué las herramientas de gestión de las aguas subterráneas están generalmente menos desarrolladas y se aplican menos que las del agua superficial. Sin embargo, debido a la creciente escasez de recursos hídricos, el valor económico del agua subterránea está aumentando, al igual que los beneficios de invertir en gestión.

Este módulo se centra en consideraciones económicas y financieras como una parte importante de la ecuación de la gestión de las aguas subterráneas. En primer lugar, se explicarán los instrumentos económicos y financieros, luego se analizará el agua como un bien social y económico antes de proceder a examinar de qué manera se pueden utilizar los instrumentos económicos y financieros para la gestión de las aguas subterráneas en el contexto de la GIRH.

2. Explicación de los instrumentos económicos y financieros

Los instrumentos económicos y financieros, que se definen en términos muy sencillos más abajo, afectan el comportamiento (a través de la creación de incentivos y restricciones a las actividades de gestión y de uso del agua) y determinan en gran medida la viabilidad financiera no solo de las actividades de gestión del agua sino también de los organismos de gestión del agua.

2.1 Instrumentos económicos

Básicamente, los instrumentos económicos son cargos que se cobran para alentar a las personas a que modifiquen su comportamiento

en un cierto sentido (Tabla 6.1). No son cargos para recuperar costos. Las tarifas, los subsidios, los subsidios cruzados y otras medidas basadas en incentivos, tales como comercio de agua y los cargos por efluentes, se utilizan generalmente para promover la asignación y uso eficientes de los recursos hídricos. Los instrumentos económicos también pueden utilizarse para alcanzar objetivos más amplios de asignación equitativa y de uso sostenible de los recursos hídricos. Estos instrumentos funcionan mejor cuando complementan (y son complementados por) instrumentos adecuados de políticas, de regulación, institucionales, técnicos y sociales.

Por ejemplo:

- Si bien el agua subterránea podría utilizarse ampliamente en emprendimientos de alto valor y generar más ingresos, trabajo y riqueza, muy a menudo se la emplea en usos económicos de bajo valor que dan lugar a su sobreexplotación, lo que origina tensiones sociales entre los usuarios.
- Es probable que los pobres o los carenciados (¿mujeres?) no tengan acceso al agua subterránea para su desarrollo y subsistencia porque el costo de extracción es demasiado alto.

En ambos casos, los instrumentos económicos pueden ayudar a corregir un problema. En el primer ejemplo, las tarifas más altas pueden servir de incentivo para asignar y/o usar el agua subterránea con mayor eficiencia, lo cual permitirá estabilizar los niveles de agua subterránea al reducir la extracción excesiva y destinar agua para actividades de mayor valor.

¿Puede proporcionar algunos ejemplos sobre cómo valoramos el agua de modo diferente?

En el segundo ejemplo, los subsidios específicos (energía subsidiada, o bombeos o tarifas de agua reducidas) pueden proporcionar incentivos para que los pobres o los carenciados puedan acceder al agua subterránea para realizar actividades agrícolas u otros tipos de desarrollo.

2.2 Instrumentos financieros

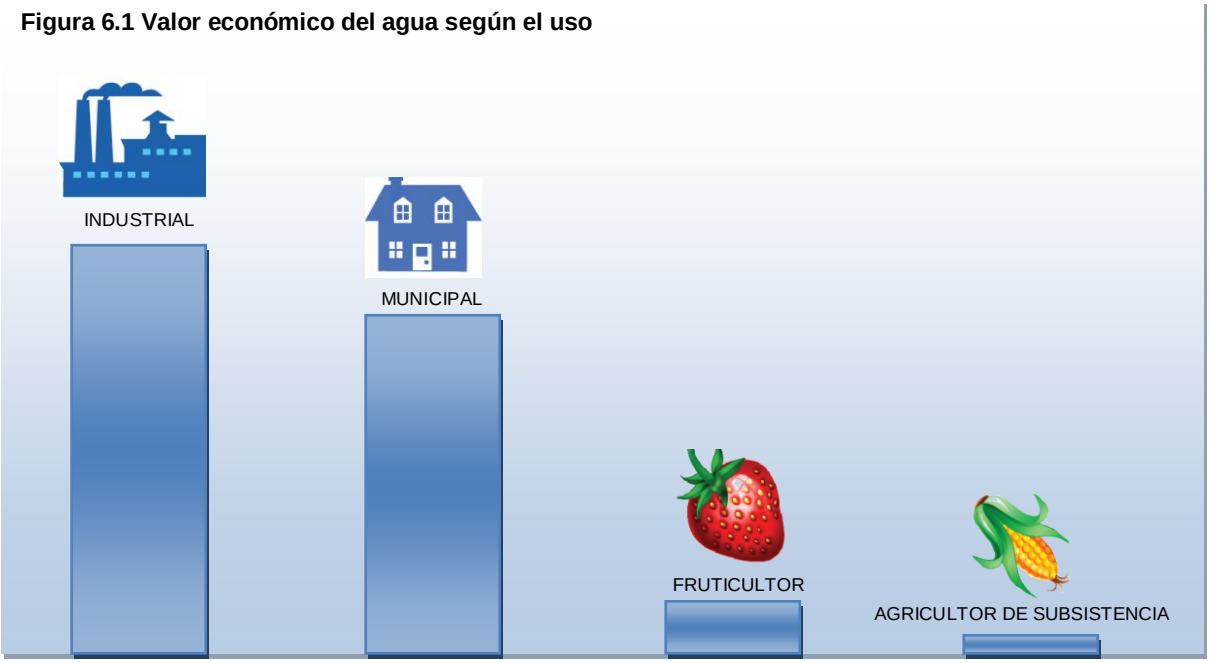
Los instrumentos financieros se refieren a los mecanismos que se utilizan para recaudar dinero para financiar actividades (tanto de naturaleza operativa como de capital). Estos instrumentos se ocupan principalmente de los ingresos que se generarán y de cómo se relacionan con los costos financieros de las actividades que se deben financiar.

¿Puede vincular el cambio de comportamiento con el instrumento económico en el cuadro?

Estas distinciones no son tan claras como lo muestran las definiciones anteriores ya que los objetivos financieros y económicos se pueden cumplir en un único instrumento, siendo las tarifas de agua un buen ejemplo. Una empresa de servicios públicos de abastecimiento de agua con fines comerciales fijaría tarifas para cubrir adecuadamente los costos de operación, mantenimiento y de capital. El rendimiento de la empresa de servicios públicos se mediría a través de diversos indicadores financieros tales como ganancia neta, rentabilidad del capital, capacidad crediticia (capacidad de pago de los intereses de la deuda), etc. En cambio, el criterio económico respecto de las tarifas consiste no solo en evaluar el aporte de las mismas a una serie de objetivos del sector hídrico sino también en garantizar la prestación adecuada del servicio a los consumidores existentes, en lograr mejoras en la equidad (acceso de la población al agua potable) y en garantizar la sostenibilidad ambiental.

Un organismo regulador independiente con facultades adecuadas es la mejor manera de garantizar que la orientación financiera de una empresa de servicios públicos de abastecimiento de agua esté atemperada por un criterio de interés económico o nacional.

Figura 6.1 Valor económico del agua según el uso



Cuadro 6.1 El uso de instrumentos económicos y financieros es importante para la gestión de las aguas subterráneas porque:

- Como el agua es cada vez más escasa, su valor económico aumenta;
- Se pueden usar instrumentos económicos y financieros para lograr las metas de gestión en términos de eficiencia, equidad y sostenibilidad;
- Sin viabilidad financiera y sin decisiones relacionadas con el agua, no habrá un flujo sostenible de beneficios para los usuarios; y
- Los instrumentos económicos tienden a enviar señales correctas a los productores y consumidores acerca de la creciente escasez de agua (algo que es menos probable cuando solo se utilizan medidas no económicas).

En general, los instrumentos económicos y financieros para la GIRH están cobrando cada vez mayor importancia en la toma de mejores decisiones a fin de optimizar la gestión del agua y los objetivos sociales, no solo para las generaciones presentes sino también para las futuras.

Cuadro 6.1 Instrumentos económicos y cambio de comportamiento

Instrumentos para cambiar el comportamiento	Cambio de comportamiento requerido
Costos de extracción: ③ Tarifas de extracción; ③ Precios indirectos, por ejemplo, energía; ③ Mercados de agua subterránea.	**Conservación de los recursos hídricos;** ③ Menos conductas contaminantes; ③ Uso más eficiente; ③ Mayor valor económico del uso; ③ Mejor equidad social; ③ Protección ambiental
Costos operativos: ③ Subsidios para ahorrar agua; ③ Subsidios para tratamiento de aguas residuales; ③ Subsidios para tecnologías de riego que reduzcan la lixiviación de agroquímicos.	

2.3 Valor del agua

El **valor del agua** en usos alternativos es importante para su asignación racional como recurso escaso, ya sea por medios de regulación o económicos (Fig. 6.1).

El valor está relacionado con la disponibilidad y el beneficio esperado. Cuando el agua subterránea o superficial de buena calidad es abundante, la misma tiende a ser subestimada. En situaciones de escasez, ya sea por falta de agua o por contaminación, el valor que la misma tiene para el usuario es mucho mayor y ello se puede deber a los resultados económicos del uso o al valor social y sanitario del uso.

La gestión del agua tiene un costo y en general se ha acordado que es conveniente comenzar a mejorar la gestión del agua en aquellas áreas donde ya se experimentan problemas. Aquí se reconoce el valor del agua debido a la competencia, escasez o contaminación y, por lo tanto, es más probable que las intervenciones de la gestión sean aceptables y exitosas.

más equitativa. Los componentes del costo del agua se muestran en el Cuadro 6.2.

El agua tiene valor como bien económico y como bien social. Muchos de los antiguos errores en la GIRH pueden atribuirse a la falta de reconocimiento del verdadero valor del agua. Si la percepción errónea del valor del agua persiste, no será posible extraer los máximos beneficios de los recursos hídricos.

¿Cuándo es el agua un bien económico?

Tratar al agua como un bien económico es esencial para tomar decisiones lógicas acerca de su asignación entre sectores diferentes y competitivos, especialmente en un ambiente de escasez de agua. Se torna necesario cuando la extensión del suministro deja de ser una opción viable. En el caso del agua subterránea, el valor económico de los usos alternativos sirve de guía para que los responsables de la toma de decisiones prioricen las inversiones. En países con abundante agua es menos probable que se la considere como un bien económico, ya que la necesidad de racionalizar su uso no es tan urgente. Sin embargo, no se puede ignorar que el agua cumple un rol muy importante en el desarrollo económico.

Tabla 6.2 Medición de los costos del uso de agua subterránea

Costos del suministro de agua				Costos de oportunidad social	Costos externos
COSTO DE EXTRACCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA	COSTO DE CAPITAL	COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	COSTO DE ADMIN. DE RECURSOS	VALOR NO PERCIBIDO DE USOS ALTERNATIVOS	VALOR IN SITU (costo de la intrusión salina, asentamiento del suelo, etc.)

3. El agua como bien económico y social

Los Principios de Dublín establecen que el agua es un bien económico (y social). Para algunas personas es difícil aceptar que el agua deba pagarse porque es un regalo de Dios. La aplicación de un precio al agua no solo se hace para recuperar costos sino también para usarse como herramienta para cambiar el comportamiento y garantizar una distribución

¿Por qué el agua es un bien social?

Aparte de su valor económico, el agua también es un bien social. Es particularmente importante considerar la asignación del agua como un medio para

¿Existe algún lugar donde el agua no sea un bien económico?

alcanzar metas sociales de equidad, de mitigación de la pobreza y de cuidado de la salud. En países donde el agua abunda, existe una mayor tendencia a tratarla como un bien social para satisfacer objetivos de equidad, mitigación de la pobreza y de salud, por encima de los objetivos económicos. La seguridad y la protección del ambiente también son parte de la consideración del agua como un bien social.

En general, el agua se considera como un importante recurso y hay sistemas que se ocupan de la gestión del agua y de la escasez de agua a nivel comunitario.

4. Aplicación de los instrumentos económicos y financieros

Uso más racional del agua

Economía implica tomar decisiones cuando los recursos son escasos. Éste es ciertamente el caso cuando el agua está contaminada y necesita consumirse, o cuando las inversiones son necesarias para conectar a más gente con los sistemas de agua potable y de saneamiento. También ocurre si hay reclamos contrapuestos: agua para consumo humano, para la agricultura y para la industria. En un contexto de escasez de agua, la competencia entra en juego cuando hay que pagar un precio.

La gestión del agua se caracteriza por monopolios e intereses concedidos, por lo que son necesarios sistemas de regulación para corregirlos. La aplicación de los instrumentos financieros y económicos puede ayudar a implementar las regulaciones y obtener los resultados deseados de una asignación racional y aceptable de los recursos escasos.

El uso racional de los recursos generalmente requiere que los consumidores, agricultores e industriales contribuyan con los costos de gestión, purificación y distribución del agua a sus hogares, granjas o industrias.

Instrumentos

Si una zona no tiene problemas con el agua, ¿debemos implementar estructuras de gestión costosas?

Los instrumentos económicos más conocidos son los impuestos, los subsidios y la determinación de precios o, una vez que alguna autoridad fija el precio, la tarifa. La determinación de dichos precios generalmente no se deja librada al mercado, ya que el precio es muy importante para la gente pobre.

Los instrumentos financieros ayudan a tomar decisiones específicas de inversión. Una manera de mejorar la eficiencia del agua es invertir en infraestructura. Esto también puede implicar prestar mayor atención a las tareas de operación y mantenimiento (O&M) y a reducir las pérdidas en el sistema. Sin embargo, cualquier inversión debe ser racional y ponderar los recursos necesarios (capital, mano de obra, materias primas, etc.) a fin de asegurar el uso óptimo de dichos recursos. Las herramientas desarrolladas a tal fin son el análisis de costo-beneficio, el costo del ciclo de vida y un análisis de múltiples criterios.

Los principios económicos, que también se utilizan en la economía del agua y del ambiente, son los de recuperación de costos y quien contamina paga. El objetivo es recuperar los costos de aquellos que reciben el beneficio. El usuario del agua recibe el beneficio de acceder al agua y debe, por lo tanto, pagar por los costos incurridos por el proveedor del servicio. De manera similar, un contaminador afecta la calidad del agua para otros usuarios y recibe el beneficio de poder eliminar desechos. El contaminador debe pagar por el costo ambiental y el costo de la agencia de gestión que monitorea al contaminador.

Por lo tanto, los principales instrumentos que se usan son:

- **Precios directos del agua subterránea a través de tarifas de extracción**
  Es el método más directo, ya que los usuarios tienen que pagar una tarifa de extracción que se basa en el volumen de uso, preferentemente medido (en vez de autorizado) para asegurar que exista un incentivo. Desafortunadamente, rara vez se mide el uso del agua subterránea para la agricultura (suele ser el consumidor más grande), por lo que el monitoreo del uso para riego no es simple. Las técnicas alternativas para estimar el uso real del agua para la agricultura incluyen:
  - derivar el volumen bombeado a partir del uso de la energía eléctrica;

- evaluar el consumo real de agua mediante técnicas de detección remota.

③ **Precios indirectos del agua subterránea mediante tarifas de energía**

El mayor costo en la extracción de agua subterránea (una vez que se instala un pozo) es la energía necesaria para extraer el agua. Este costo no solo depende de la profundidad del nivel freático, de las características del acuífero y de la eficiencia del pozo, sino también del costo unitario de la energía para el bombeo. Así, los precios de la energía (electricidad o gasoil) pueden ser una herramienta poderosa para influenciar las tendencias de bombeo del agua subterránea. Paradójicamente, en varias partes del mundo, los precios de la energía se usan en sentido contrario, con grandes subsidios en el lugar para disminuir los costos agrícolas. Si bien puede ser legítimo subsidiar a los agricultores pobres para mejorar su medio de vida, subsidiar la extracción de agua subterránea en general no suele ser la mejor opción, ya que la extracción excesiva de agua subterránea puede en el largo plazo erosionar la disponibilidad del recurso para los mismos agricultores.

③ **Mercados de agua subterránea**

Los mercados del agua han sido respaldados para mejorar la gestión de los recursos, especialmente con respecto al uso más eficiente del agua y a la asignación dentro y entre los sectores. Son más flexibles que los instrumentos de comando y monitoreo en la asignación del agua a usos de mayor valor de modo aceptable para todas las partes, lo que estimula el crecimiento económico y disminuye la tensión social. Sin embargo, los mercados del agua reducen la oportunidad del estado de responder a necesidades sociales y situaciones de emergencia.

5. Instrumentos económicos y financieros en la gestión de las aguas subterráneas

¿Cómo se debe financiar la gestión de las aguas subterráneas y qué monitoreo debe haber sobre las tarifas de agua? Esta no es una pregunta fácil de responder y, si bien las situaciones son diferentes, el desafío consiste en saber si los sistemas de gestión financiera elegidos son adecuados para cumplir con los objetivos de gestión del agua; si no lo son, deben modificarse.

En una sociedad en la que el agua se considera un recurso escaso y las tarifas están establecidas para reflejar el valor económico total de la misma, será más fácil generar recursos financieros para la gestión del agua. En este caso, los costos de gestión del agua se incorporarán al sistema de tarifas y las funciones relacionadas con la gestión del agua tendrán respaldo financiero. En otras circunstancias, la financiación de la gestión del agua no puede hacerse a través de las tarifas sino principalmente a través de los gastos fiscales que provienen del sistema general de impuestos.

¿Quién paga la gestión de las aguas subterráneas en su país? ¿El usuario del agua sin procesar o el contribuyente general?

En general, es preferible tener un sistema en el que los usuarios paguen por ciertos beneficios privados del agua que obtienen y que el sector público principalmente financie las actividades y funciones vinculadas con la provisión de bienes públicos en actividades relacionadas con el agua.

Esto equivale a tener un sistema con tarifas de agua que cubren el costo para uso residencial, industrial, eléctrico y agrícola (incluidos los pagos por las actividades contaminantes del agua), mientras que la financiación pública o impositiva puede orientarse a la gestión del agua para usos estéticos y recreativos, prevención de desastres y problemas de salud relacionados con el agua, y para proteger algunos valores sin uso (preservación de áreas o especies en peligro de extinción). Este sistema de gestión del agua probablemente sea más efectivo en términos de eficiencia, equidad y sostenibilidad.

6. ¿Qué medidas hay que tomar para introducir los instrumentos económicos en la gestión de las aguas subterráneas?

Un primer paso consiste en analizar si la situación es tal como para garantizar el establecimiento de un sistema amplio de gestión del agua que incluya un sistema de precios.

La presentación de instrumentos económicos dependerá de las condiciones hidrológicas, económicas, sociales y políticas actuales. La **viabilidad de análisis** debe incluir una evaluación de costos y beneficios de cada instrumento y de las posibles combinaciones. Además, debe considerar los costos recurrentes a largo plazo y la capacidad institucional (para administración, monitoreo, aplicación) y los costos de las transacciones requeridas para establecer los sistemas. Los costos y beneficios esperados también influyen en el intercambio entre el uso de los instrumentos económicos y otras herramientas de gestión de las aguas subterráneas.
El elemento más fundamental para el funcionamiento de los instrumentos económicos es asegurar que el sistema propuesto sea viable y **aplicable**.

El uso del agua subterránea es una actividad descentralizada en la que normalmente participan varios usuarios privados que perforaron sus propios pozos, instalaron sus propios equipos y siguen sus propios esquemas de bombeo. En el caso de grandes acuíferos, con cientos de miles de usuarios, es imposible aplicar la medición de la descarga de pozos si los usuarios no tienen ningún incentivo para cumplir. Por lo tanto, es esencial que se creen incentivos para que los usuarios participen activamente en la gestión de acuíferos. Esto puede respaldarse al brindar información sobre el estado del agua subterránea y al promover la participación de las partes interesadas en la gestión (a través de la cual los usuarios ejercen presión en los pares para lograr los objetivos de gestión).

¿Qué instrumentos económicos se encuentran disponibles para monitorear la contaminación del agua subterránea?

Por lo general, el instrumento indicado para disminuir la contaminación del agua es el principio de "quien contamina paga", mediante el cual una industria debe pagar por la cantidad de contaminación que produce. Cuanto menos contamina, menos paga.

Este enfoque no se aplica directamente a la protección de los acuíferos debido a las características especiales del agua subterránea, en especial el intervalo de los

Tabla 6.3 Ejemplos de instrumentos económicos y financieros que se aplican en la gestión del agua

Función	Instrumentos financieros/objetivo	Instrumentos económicos/objetivo
Asignación de los recursos hídricos.	Cargo por permisos, cargo por volumen de agua sin procesar. Administración de la recuperación de costos; gestión de la recuperación de costos en la cuenca; inversión y recuperación de costos; monitoreo de recuperación de costos.	Cargo por volumen/uso. Incentivos por eficiencia o por consideraciones de equidad.
Monitoreo de la contaminación	Cargo por permisos, cargo por contaminación. Administración de la recuperación de costos; monitoreo de la recuperación de costos; recuperación de costos por limpieza ambiental.	Cargos relacionados con el volumen y la calidad. Requisito de auto-monitoreo. Sanciones por mala calidad y descarga de volúmenes excesivos.
Monitoreo del uso del agua, contaminación del agua, cumplimiento, recursos hídricos.	% de cargos por agua sin procesar y contaminación. Recuperación de costos	Sanciones. Para garantizar el cumplimiento.

impactos, la persistencia de algunos contaminantes del agua subterránea y el costo posible de algunos episodios de contaminación. En cambio, se requieren incentivos económicos para que las compañías industriales y de servicios públicos de suministro de agua inviertan en el tratamiento adecuado de aguas residuales y reciclado, especialmente donde las evaluaciones de vulnerabilidad de los acuíferos sugieren un alto riesgo de contaminación del agua subterránea.

Otro tema importante es el monitoreo de la contaminación difusa del cultivo agrícola. Esto puede tener un importante impacto negativo en la calidad del agua subterránea debido al filtrado de agroquímicos. A menudo, el hecho que el monitoreo de la contaminación está a cargo de una agencia independiente del agua puede ser problemático si se le presta poca atención al agua subterránea.

Instrumentos económicos y funciones de gestión del agua

Una consideración importante en el establecimiento de las tarifas es la justificación de los costos cargados y la transparencia en los costos de gestión, de monitoreo, etc. Los costos de funcionamiento del sistema de gestión del agua deben analizarse con cuidado y justificarse en base a las actividades y al esfuerzo involucrado. Esto justifica lo que en caso contrario sería una tasa arbitraria. Sin embargo, los niveles de las tasas son una cuestión política y el ingreso puede no alcanzar el gasto. Esto es aceptable si hay un acuerdo con el gobierno para subsidiar el desarrollo de la cuenca o para otras razones y si el gobierno desea completar la diferencia de los costos. De lo contrario, con un déficit de presupuesto, los sistemas fallarán y la gestión del agua se limitará a aquellas actividades de prioridad económica.

Cuadro 6.2 Preguntas clave

- ¿Quién paga?
- ¿Qué institución recibe el pago?
- ¿Cuáles son los elementos financieros?
- ¿Cuáles son los elementos económicos?

A menudo, el gobierno central puede recibir el ingreso y el sistema local de gestión de recursos hídricos puede financiarse a partir de impuestos centrales. Ésta no es una receta para la gestión eficiente de los recursos hídricos en la cuenca y funciona de manera inversa a la filosofía de los instrumentos económicos y financieros que se aplican a los usuarios del agua. En tales circunstancias, sigue siendo aconsejable mantener una comparación de gastos e ingresos.

Un punto final está en el cazador (usuario del agua) y el guarda bosques (administrador del agua). Con frecuencia, la gestión del agua está a cargo de un organismo que tiene otras funciones tales como riego o que presta servicios de abastecimiento de agua. Esto inmediatamente genera un conflicto de interés que puede provocar falta de confianza o de cooperación de otros sectores. En estos casos, es aconsejable proteger las funciones de gestión del agua y mantenerlas separadas de las otras desde el punto de vista financiero y desde una perspectiva de toma de decisiones.

7. Resumen

- Las herramientas económicas son un instrumento esencial en la gestión de las aguas subterráneas.
- La recuperación de costos es un componente de equidad y es fundamental para los organismos de gestión del agua.
- La aplicación adecuada de herramientas financieras y económicas puede contribuir al desarrollo de los servicios.

Referencias y lecturas en la web

Cap-Net, 2008. Economics in sustainable water management. Manual de capacitación y guía para moderadores disponible en: http://cap-net.org/sites/cap-net.org/files/Economics%20of%20water%20FINAL.doc

GW•MATE, 2002-2006, Nota informativa 7. http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPTICS/EXTWAT/0, contentMDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:4602123,00.html

Rogers, P., Bhatia, R, y Huber, A., 1998. Water as a Social and Economic Good: How to put principle into practice. GWP TAC paper 2, disponible en: http://www.gwpforum.org/gwp/library/TAC2.PDF

EJERCICIO

Instrumentos económicos y financieros (IEF)

Objetivo: identificar los obstáculos y las oportunidades para aplicar instrumentos económicos y financieros a la gestión de las aguas subterráneas.
Actividad: 90 minutos: 60 minutos de trabajo en grupo, 30 minutos para presentación de informes y análisis
Grupo 1: analizar, según su experiencia, cómo aplicar los instrumentos financieros para la recuperación de costos en aguas subterráneas. En particular:

- ¿Qué costos de gestión de las aguas subterráneas deben recuperarse y quién debe pagarlos?
- ¿Qué condiciones deben existir antes de aplicar los sistemas de pago?
- ¿Cómo pondría en práctica el sistema de pago?

Grupo 2: analizar cómo aplicar los instrumentos económicos para cambiar el comportamiento.

- ¿Qué comportamientos desea cambiar?
- ¿Cómo puede aplicar los instrumentos económicos para cambiar el comportamiento? ¿Es factible?
- ¿Qué otros mecanismos puede usar para cambiar el comportamiento y obtener el resultado que desea?

Presentación de informes: 30 minutos

Módulo 7: Participación de las partes interesadas en la gestión de las aguas subterráneas

Objetivos de aprendizaje:

- Identificar y clasificar a las partes interesadas.
- Considerar las diferentes estructuras y responsabilidades de las partes interesadas en la gestión de las aguas subterráneas.
- Conocer cómo mantener la participación de las partes interesadas a través del tiempo.

1. ¿Por qué deben participar las partes interesadas?

Este módulo brinda un panorama general sobre cómo deben involucrarse las partes interesadas en la gestión del agua y describe la manera de identificar y movilizar a las partes interesadas. Además se analizan las estructuras de las partes interesadas en la cuenca y los roles y las responsabilidades que puedan tener. Al final se brindan algunas sugerencias para mantener la participación activa.

La noción de que las partes interesadas deben tener voz y voto en la gestión del agua es uno de los pilares del concepto de gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH).

La razón principal de por qué es importante la participación de las partes interesadas es que solo su interés en el sistema de gestión de las aguas subterráneas y su aceptación posibilitará su implementación.

Las partes interesadas **quieren** participar porque:

- Tienen un gran interés en los recursos de un acuífero específico que quieren proteger o mejorar. Esto quizás se debe al hecho que ellos usan el agua subterránea, o que realizan actividades que pueden contaminar el agua subterránea o que están interesados en la disponibilidad de agua subterránea y en la gestión ambiental.

Las partes interesadas **necesitan** participar porque:

- A menudo es imposible implementar las decisiones de gestión tomadas unilateralmente por el ente regulador sin consenso social. Las actividades esenciales de gestión (tales como monitoreo, inspección y cobro de tarifas) pueden ser más efectivas y económicas a través de esfuerzos cooperativos y cargas compartidas. La integración y coordinación de las decisiones relacionadas con las aguas superficiales y subterráneas, el uso de la tierra y el tratamiento de residuos son posibles a través de la cooperación de las partes interesadas. En el caso de acuíferos más pequeños, la gestión por las partes interesadas puede ser la única opción realista.

Otros **beneficios** que surgen de la participación de las partes interesadas son:

- Toma de decisiones más informadas porque por lo general las partes interesadas poseen un cúmulo de información que puede mejorar la gestión de las aguas subterráneas.
- Prevención de conflictos a través del consenso e intercambio de información.
- Beneficios sociales, porque tienden a promover la equidad entre los usuarios.
- Beneficios económicos, porque tienden a optimizar el bombeo y a reducir los costos de energía.
- Beneficios técnicos, porque generalmente conducen a mejores estimaciones de extracción de agua.

¿Qué otros beneficios conlleva la participación de las partes interesadas?

Claramente, la estrategia de participación de las partes interesadas es un componente integral de la gestión de las aguas

subterráneas y no un acontecimiento único y excepcional.

2. Identificación de partes interesadas clave

¿Quién es una parte interesada? Es muy fácil abrumarse por la cantidad potencialmente grande de partes interesadas que demuestran interés en el agua. Por lo tanto, es importante analizar cuidadosamente quiénes deben participar y por qué.

El análisis de las partes interesadas comprende esencialmente tres etapas:

- Identificar entre la amplia variedad de grupos e individuos a las partes interesadas clave que podrían afectar o verse afectadas por cambios en la gestión del agua.
- Evaluar los intereses de las partes interesadas y el posible impacto que pueden tener las decisiones de gestión de las aguas subterráneas en dichos intereses.
- Evaluar la influencia e importancia de las partes interesadas identificadas.

Dicho análisis debería estar vinculado con el desarrollo de un proceso institucional con la participación a largo plazo de las partes interesadas en la gestión de las aguas subterráneas (consultar la Sección 4 de este módulo).

Etapa 1: identificación de partes interesadas clave

El primer paso consiste en identificar y agrupar a las partes interesadas en el área donde se lleva a cabo la gestión de las aguas subterráneas.

- ¿Quiénes son los posibles beneficiarios?
- ¿Quiénes podrían verse afectados negativamente?
- ¿Se identificaron grupos vulnerables que pueden verse afectados?
- ¿Se identificaron aquellos que apoyan o que se oponen a cambios en los sistemas de gestión del agua?
- ¿Los intereses del género están correctamente identificados y representados?

Es crucial, y no se debe subestimar, contar con un inventario real de partes interesadas. También es importante tener en cuenta que a través del inventario muchas de las partes interesadas tienen contacto por primera vez con los administradores del agua. A menudo, las extracciones de agua subterránea son descontroladas y la visita de un representante de un organismo gubernamental no siempre se considera positiva.

Etapa 2: evaluar los intereses de las partes interesadas y el posible impacto del proyecto en dichos intereses

Una vez que se han identificado las partes interesadas clave, entonces se puede considerar el posible interés que estos grupos o individuos pueden tener en el agua subterránea (Cuadro 7.1). Las preguntas para evaluar los intereses de las diferentes partes interesadas incluyen:

- ¿Cuáles son las expectativas de las partes interesadas?
- ¿Qué beneficios podrá obtener la parte interesada?
- ¿Qué recursos podría y estaría dispuesta a movilizar la parte interesada?
- ¿Qué intereses de la parte interesada están en conflicto con la gestión de las aguas subterráneas y con los objetivos de la GIRH?

Cuadro 7.1 Gama potencial de intereses y actividades de las partes interesadas en el agua subterránea

SECTOR	TIPOS DE USO DEL AGUA	PROCESOS DE CONTAMINACIÓN	OTRAS CATEGORÍAS
Rural	Doméstico; cría de ganado; agricultura de subsistencia; riego comercial	Eliminación de desechos domésticos, drenajes de granjas; Cultivos intensivos; Riego con aguas residuales	Contratistas para perforaciones; Establecimientos educativos; Asociaciones profesionales; Periodistas/medios de comunicación
Urbano	Empresas de servicios públicos; abastecimiento privado	Aguas residuales urbanas; Eliminación/reuso; Rellenos sanitarios municipales	
Industria y minería	Empresas auto-abastecidas	Descarga de desagües/aguas residuales; Eliminación de desechos sólidos; Plantas de almacenamiento de productos químicos/petróleo	
Turismo	Hoteles y campamentos	Descarga de aguas residuales; Eliminación de desechos sólidos	
Ambiente	Ecosistemas de ríos/humedales; lagunas costeras		

Al evaluar los intereses de las diferentes partes interesadas, es importante tener en cuenta que algunas pueden tener objetivos múltiples o contradictorios e intereses ocultos que intentarán promover y defender.

Etapa 3: evaluación de la influencia e importancia de las partes interesadas

En esta etapa, la tarea consiste en evaluar la influencia e importancia de las partes interesadas identificadas en las etapas anteriores. La influencia se refiere al poder que tienen las partes interesadas, como es el control formal del proceso de toma de decisiones o el control informal en el sentido de obstaculizar o facilitar la implementación de procesos de gestión de las aguas subterráneas.

Para evaluar la importancia e influencia de las partes interesadas hay que determinar:

- El poder y situación (política, social y económica) de la parte interesada.
- El grado de organización de la parte interesada.
- El control que tiene la parte interesada sobre los recursos estratégicos.
- La influencia informal de la parte interesada (conexiones personales, etc.).
- La importancia de dichas partes interesadas para el éxito de la gestión de las aguas subterráneas.

Cuadro 7.2 Categorías de partes interesadas

A. Gran interés/importancia, gran influencia Estas partes interesadas son la base para una coalición efectiva de apoyo.	**B. Gran interés/importancia, poca influencia** Hay que prestar atención a las partes interesadas cuando hay que proteger sus intereses.
C. Poco interés/importancia, gran influencia Estas partes interesadas pueden influir en los resultados pero sus prioridades no se relacionan con la gestión de las aguas subterráneas. Pueden ser un riesgo o un obstáculo.	**D. Poco interés/importancia, poca influencia** Estas partes interesadas son las que tienen menor importancia para el proyecto.

Las partes interesadas que son importantes a menudo son las que se benefician con el agua subterránea o cuyos objetivos convergen con los objetivos de gestión de las aguas subterráneas. Algunas partes interesadas muy importantes pueden tener muy poca influencia y viceversa.

Tanto la influencia como la importancia de las diferentes partes interesadas se pueden clasificar mediante escalas simples y

asociaciones entre sí. Este ejercicio es un paso inicial para determinar la estrategia adecuada para la participación de las diferentes partes interesadas. Al igual que en la etapa 2, a fin de garantizar que la evaluación sea lo más precisa posible, es preferible realizar consultas “in situ”.

Uno de los problemas es la representación. Es imposible consultar a todos y para las estructuras formales de partes interesadas es necesario que la representación sea legítima.

Es particularmente importante identificar a las partes interesadas gubernamentales (ver más abajo) que tienen influencia o impacto en la gestión de las aguas subterráneas, tales como agricultura (uso de la tierra) o ambiente (uso de la tierra, tratamiento de la contaminación, salud de los ecosistemas), con el objeto de hacerlos participar en el desarrollo e implementación de estrategias.

3. Funciones de las partes interesadas en la gestión de las aguas subterráneas

Existen muchas maneras en que las partes interesadas pueden participar en la gestión de las aguas subterráneas y de los acuíferos. El Cuadro 7.3 ofrece un resumen de las posibles funciones y de los niveles de gestión a los que generalmente corresponden estas funciones. Los enfoques varían de acuerdo con los intereses específicos de las partes interesadas y el tipo de derechos de uso de la tierra y del agua en la zona involucrada.

Para garantizar la propiedad de las decisiones de las partes interesadas, la participación debe comenzar cuando se identifican y perfilan por primera vez los problemas relacionados con el recurso, y después debe continuar con las etapas de planificación, implementación y monitoreo de la gestión.

Uno de los desafíos más difíciles en la gestión participativa del agua subterránea es incluir y definir un rol para aquellos que no tienen ningún interés directo en la gestión de los recursos, ya que no son ni usuarios de los pozos ni posibles contaminadores, pero que sin embargo pueden verse seriamente afectados por las decisiones de gestión, como es el caso de los empleados en empresas agrícolas o industriales y en ONGs ambientalistas que representan intereses de conservación de humedales.

En países donde se han llevado a cabo reformas en el sector hídrico y se han revisado las leyes de aguas, a menudo se descubre que las partes interesadas están identificadas en la ley de aguas y tienen la posibilidad de participar en la gestión del agua a través de estructuras legales. Esto constituye una plataforma importante para la participación y colaboración formal con los organismos gubernamentales de gestión.

El gobierno como parte interesada

Cuadro 7.3 Resumen de las funciones que realizan comúnmente las partes interesadas en esquemas participativos de administración y gestión de las aguas subterráneas

FUNCIONES	Nivel en el que se realizó la función	
	Asociación de usuarios del agua	Acuífero u organización de cuenca
Poseer derechos de agua subterránea	Sí	
Mantener el suministro/la distribución de agua subterránea	Sí	
Cobrar cargos por uso del agua a nivel de distribución	Sí, x	
Realizar monitoreo operativo del agua subterránea	Sí, +	
Establecer normas obligatorias de uso del agua	Sí, x	Sí, x
Emprender el monitoreo del uso del agua subterránea	Sí, x +	Sí, x +
Participar en el establecimiento de criterios/objetivos		Sí, +
Formular/implementar planes de gestión de acuíferos		Sí, +
Implementar medidas de protección del agua subterránea		Sí, x +
Resolver conflictos por el agua subterránea		Sí, x +
Revisar el uso conjunto y los esquemas de transferencia del agua		Sí, +

x Necesita estado legal de la organización o asociación;

\+ Requiere formalización de la relación con el ente regulador del agua.

La coordinación intersectorial merece mención especial en la participación de las partes interesadas. La coordinación entre los diferentes sectores con frecuencia implica cooperar, o al menos intercambiar información, con los diferentes ministerios y departamentos gubernamentales.

Por lo tanto, para lograr un enfoque integral de gestión del agua es esencial coordinar la gestión de las aguas subterráneas con otros ministerios, ya sea a través de estructuras interministeriales o directamente con los respectivos departamentos locales de otros ministerios. En muchos casos, esta coordinación debe hacerse en paralelo con la gestión de la cuenca hidrográfica en la que pueden participar representantes de los ministerios.

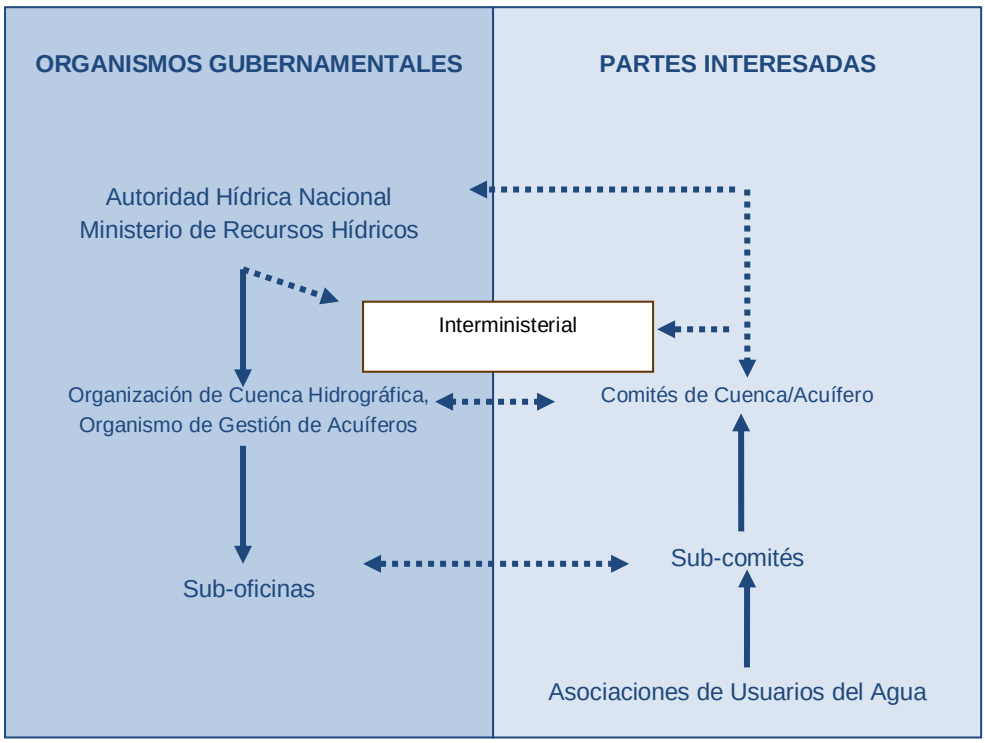
Como se muestra en la Figura 7.1, los comités interministeriales se ubican entre las partes interesadas y los organismos gubernamentales. Esto se debe a que muchas organizaciones gubernamentales pueden estar a cargo de la gestión de los recursos hídricos o de los usuarios o ser responsables de áreas del programa que tienen un impacto directo en la gestión del agua. Los gobiernos locales son, en muchos casos, responsables del suministro del agua y del saneamiento, por lo que se encuentran en la categoría de usuarios del agua. Al mismo tiempo, el gobierno local es, obviamente, una parte interesada importante cuando se trata de la asignación del agua o de la planificación de la cuenca y puede tener responsabilidades locales en la gestión de las aguas subterráneas.

La Agencia Ambiental es otro ejemplo de organismo responsable del tratamiento de la contaminación de los recursos hídricos. El organismo de gestión de las aguas subterráneas debe actuar como parte interesada para influir en la forma en que la Agencia Ambiental establece políticas e implementa este programa. La agricultura puede establecer políticas y programas de ordenamiento territorial, cultivos o riego que afectan directamente la gestión del agua en una cuenca y, nuevamente, la gestión de las aguas subterráneas debe verse como un parte interesada en las decisiones de política del Ministerio de Agricultura.

4. Mecanismos institucionales para la participación de las partes interesadas en la gestión de las aguas subterráneas

La participación de las partes interesadas y de la comunidad en la gestión de las aguas subterráneas se debe realizar a varios niveles territoriales, desde el pozo individual hasta el

Figura 7.1 Posibles vínculos entre las partes interesadas y los organismos gubernamentales



sistema de acuíferos, e incluso a nivel de cuenca o nacional. Dicha participación se debe alentar en todos los niveles donde las partes interesadas pueden hacer un importante aporte a la conservación y protección del agua subterránea y en muchos casos integrarse con la gestión del agua superficial.

En algunos países han existido desde tiempos inmemoriales entidades locales que se ocupaban de distribuir entre sus miembros el agua subterránea de pozos o manantiales (principalmente para riego), de cobrar, de mantener la infraestructura y de resolver conflictos por el agua de acuerdo con el derecho consuetudinario. Dichos grupos pueden formar una base importante para compartir buenas prácticas con otras comunidades y se les puede conferir reconocimiento legal para facilitar su trabajo y permitirles entablar relaciones contractuales con organismos locales de regulación del agua y de la tierra.

Las reformas del sector hídrico sujetas a la GIRH con frecuencia identifican las estructuras de las partes interesadas (tales como las asociaciones de usuarios del agua) y les confieren responsabilidades y funciones específicas en la gestión del agua superficial y subterránea. En el caso del agua subterránea, es posible que sea necesario contar con un organismo de gestión de grandes acuíferos, especialmente aquellos que están en peligro. Sin embargo, la realidad en la mayoría de las situaciones es incorporar la gestión de las aguas subterráneas en los sistemas de gestión del agua superficial, tales como las organizaciones de cuencas hidrográficas, lo cual es coherente con la filosofía de considerar el agua como un solo recurso.

En algunas reformas del sector hídrico se les cedió a las partes interesadas la asignación del agua a nivel local y se les permite estar representadas a nivel superior para supervisar a la Autoridad Nacional del Agua (Fig. 7.1). En otros países, las partes interesadas solo tienen funciones de asesoramiento. Es importante formalizar la participación de las partes interesadas porque una estructura formal de partes interesadas facilita el trabajo del administrador del agua ya que reduce la necesidad de movilizarlas continuamente y les garantiza un vínculo formal y regular.

No hay ninguna guía para saber cómo construir la estructura de representación de las partes interesadas. La Figura 7.1 muestra los posibles vínculos entre los organismos gubernamentales y las organizaciones de las partes interesadas a diferentes niveles. En la medida de lo posible, las aguas superficiales y subterráneas deben administrarse dentro de las mismas estructuras.

Es importante aclarar con anticipación cuáles serán los roles y las responsabilidades de las estructuras de las partes interesadas en el proceso de gestión del agua. Por ejemplo, se le puede asignar a los usuarios la responsabilidad de realizar tareas de monitoreo a nivel local bajo la supervisión del organismo de gestión del agua. En este caso, el diseño de la estructura de las partes interesadas debe facilitar la comunicación a nivel local. Otro ejemplo es el desarrollo de planes para el área de gestión del agua. Es probable que para ello se necesite el consenso entre las principales partes interesadas y la consulta con los grupos más importantes. En este caso, las estructuras formales de las partes interesadas son invaluables.

El tema crucial en estas estructuras de las partes interesadas es la representación. Se deben definir los procedimientos y las pautas sobre la manera en que se representan los diferentes grupos y en que los representantes ocasionalmente se seleccionan y reemplazan. Es importante contar con reglas claras y documentadas para lograr una participación equitativa.

5. Movilización de las partes interesadas

Es importante primero aclarar el propósito de la movilización. Puede ser para recolectar información, para persuadir a las partes interesadas que realicen tareas tales como monitoreo, o para que se ocupen de la gestión de las aguas subterráneas en su área local.

La movilización de las partes interesadas puede ocurrir en cualquier momento por distintas razones. A menudo se ha movilizado a las personas para que suministren información o para que participen en un proceso de planificación. No obstante, cuando se deja de tener contacto con esas personas, como suele suceder, se advierte que en el futuro no serán tan receptivas. Es importante ser honesto con uno mismo y con la comunidad sobre cuáles son las expectativas, ya que con frecuencia las partes interesadas participan solo para decir que lo han hecho. (Tabla 7.4)

perspectiva, el organismo de gestión del agua es responsable de proporcionar y presentar

Cuadro 7.1 El género en la movilización de las partes interesadas

Para lograr un uso económicamente eficiente del agua subterránea es necesario prestar atención al género. Ello permite:

Inversión efectiva: la infraestructura del agua subterránea se puede utilizar, mantener y sostener de forma más amplia y óptima cuando se tiene en cuenta las demandas, expectativas, experiencia, participación y conocimientos del hombre y de la mujer. Ello permitirá encontrar soluciones en tecnología, sistemas de pago y de gestión, y puede resultar en un mejor uso de fondos, recursos humanos y agua limitados.

Mejor recuperación de costos: la recuperación de la inversión en servicios de abastecimiento de agua puede mejorar si se reconoce y promueve en forma equitativa el rol tradicional del hombre y de la mujer en la gestión del agua.

Titularidad mejorada: las comunidades se sienten más comprometidas con aquellos proyectos hídricos que apuntan a temas específicos del género. Un estudio del Banco Mundial en 1993 sobre 121 proyectos hídricos demostró que cuando los usuarios (hombres y mujeres) participaban en la planificación, construcción y gestión de los sistemas, éstos tenían un mejor desempeño. La participación sensible al género fue siempre un factor para el éxito del diseño, calidad de la implementación, y eficiencia, operación y mantenimiento de los proyectos.

(Cap-Net, GWA, 2005)

6. Comentarios finales

A pesar del largo y difícil proceso de movilizar y organizar a las partes interesadas, el mayor desafío probablemente consista en mantener activa la participación de las partes interesadas. Una forma de lograrlo es asegurar que las partes interesadas se den cuenta de los beneficios de su participación. Para muchas partes interesadas, la gestión del agua puede parecer negativa porque de repente se enfrentan con restricciones en la extracción de agua y con descargas de efluentes o demandas en cuanto al auto-monitoreo. Además, tienen que quitarle tiempo a sus propias actividades laborales y medios de generación de ingresos. Desde esta beneficios concretos que se obtienen mediante la participación en el proceso de gestión del agua de la cuenca hidrográfica.

Algunos de los mecanismos que generan compromiso son:

- Hacer que las partes interesadas comprendan las situaciones complejas del agua subterránea.
- Otorgar facultades a las partes interesadas.
- Garantizar que todas las partes interesadas estén correctamente representadas.
- Cuando sea necesario, establecer un sistema sólido de derechos de agua subterránea.

Tabla 7.4 Tipos de participación de las partes interesadas

	CARACTERÍSTICAS
Participación manipuladora	La participación es simplemente una pretensión.
Participación pasiva	Las personas participan informándoles lo que se ha decidido o lo que ya ha sucedido. La información compartida pertenece únicamente a los profesionales externos.
Participación mediante consulta	Las personas participan consultándoselas o respondiendo preguntas. No se les da participación en la toma de decisiones y los profesionales no tienen ninguna obligación de tener en cuenta sus puntos de vista.
Participación por incentivos materiales	Las personas participan a cambio de alimentos, dinero en efectivo u otros incentivos materiales. La población local no tiene ningún interés en continuar con las prácticas cuando los incentivos terminan.
Participación funcional	Las agencias externas ven a la participación como un medio para lograr las metas del proyecto, especialmente la reducción de costos. Las personas podrán participar agrupándose para alcanzar objetivos predeterminados del proyecto.
Participación interactiva	Las personas participan en el análisis conjunto, lo que lleva a planes de acción y a la formación o al fortalecimiento de grupos o instituciones locales que determinan cómo se utilizan los recursos disponibles. Se utiliza un método de aprendizaje para buscar múltiples puntos de vista.
Auto movilización	Las personas participan tomando iniciativas, independientemente de las instituciones externas. Establecen contactos con instituciones externas para conseguir recursos y asesoramiento técnico pero retienen el control sobre el uso de los recursos.

FUENTE: Dalal-Clayton B, Bass S (2002)

Referencias y lecturas en la web

Cap-Net, GWA, 2005. Why Gender Matters. http://www.cap-net.org/node/1517

Cap-Net, 2008. Integrated Water Resources Management for River Basin Organizations. http://www.cap-net.org/node/1494

GW•MATE, 2002-2006, Nota informativa 7 http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,contentMDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:4602123,00.html

Meta Meta, Participatory Groundwater Management: http://www.groundwatermanagement.org

EJERCICIO

Participación de las partes interesadas

Objetivo: analizar los roles que pueden desempeñar las partes interesadas en la gestión de las aguas subterráneas.
Actividad: 45 minutos de trabajo grupal, 35 minutos para presentación de informes.
Grupo 1: Ustedes son administradores responsables de la gestión y el desarrollo del agua subterránea en una región de su país donde hay sobre-explotación de agua subterránea. No se les asignará más personal ni recursos:

- ¿Qué medidas tomarán para que la comunidad participe?
- ¿Qué tareas/responsabilidades les asignarán?
- ¿Cómo garantizarán que las tareas se llevan a cabo?
- ¿Cuáles serán sus roles?

Grupo 2: Ustedes son partes interesadas en una región de su país donde hay sobre-explotación del agua subterránea, la calidad del agua es mala, el nivel freático ha descendido y hay faltas periódicas de agua. Se cree que algunos agricultores bombean demasiada agua para sus cultivos y contribuyen al problema.

- ¿Cómo piensan resolver el problema?
- ¿Qué rol estarían preparados a desempeñar y qué rol debería desempeñar el gobierno?
- ¿Qué facultades y responsabilidades se les puede otorgar a la comunidad?
- ¿Cómo se financiarán las acciones?

Presentación de Informes: 20 minutos para cada grupo y luego 15 minutos para debate.

Módulo 8: Gestión de la calidad del agua subterránea

Objetivos de aprendizaje:

- Entender la importancia de proteger la calidad del agua subterránea.
- Comprender el rol de la evaluación de riesgos y la representación de la vulnerabilidad en la gestión de la calidad del agua subterránea.
- Examinar el caso específico de las aguas residuales urbanas y de la calidad del agua subterránea.

1. Introducción

La calidad del agua subterránea es un tema oculto dentro de un recurso oculto y, como consecuencia, se le presta muy poca atención. La mayor parte del agua subterránea sale de la tierra como agua potable de buena calidad que no necesita casi ningún tratamiento antes de su distribución y utilización. La buena calidad se debe a la protección que el suelo le proporciona al agua al filtrar las bacterias y proteger el agua de los contaminantes generados en la superficie de la tierra. En un sistema de abastecimiento de agua a través de cañerías, los únicos tratamientos preventivos que quizás sea necesario llevar a cabo pueden ser la desinfección y reducir la corrosión en la red de cañerías. Por consiguiente, el agua subterránea es un recurso muy valioso para los administradores de los recursos hídricos. Por otra parte, una vez que el agua subterránea ha sido contaminada, la restauración de la calidad es una tarea muy larga, compleja y costosa y en muchos casos se destruye al agua subterránea como fuente de agua potable.

Es por estas razones que el monitoreo, la prevención y el tratamiento del agua subterránea contaminada es un tema esencial en la gestión. Los objetivos específicos de este módulo son:-

- brindar pautas para la identificación y evaluación de las amenazas a la calidad del agua subterránea;
- presentar herramientas y estrategias de gestión que se puedan usar para evitar o reducir dichas amenazas.

¿Conoce algún problema significativo de calidad del agua subterránea en un ambiente urbano o rural en su país?

¿Por qué hay que proteger las fuentes de agua subterránea?

El agua subterránea es un recurso natural y vital para la provisión confiable y económica de agua potable en el sector urbano y rural. Para el abastecimiento municipal de agua es necesario que la calidad del agua cruda sea alta y estable, lo que se alcanza más eficazmente mediante fuentes protegidas de aguas subterráneas. A menudo, los que explotan el agua subterránea como fuente de abastecimiento de agua potable no toman ninguna medida para proteger la calidad del agua. Los acuíferos en todo el mundo están siendo amenazados por la contaminación provocada por la urbanización, por el desarrollo industrial, por las actividades agrícolas y por los emprendimientos mineros. El impacto de un episodio de contaminación provocado por un contaminante persistente puede demorar varios años o décadas en manifestarse en el agua subterránea extraída de pozos profundos y hasta insumir más tiempo en su tratamiento.

- Los suministros de agua subterránea merecen ser protegidos porque son un recurso vital para el abastecimiento de agua potable en ambientes urbanos y rurales.
- Los administradores de recursos hídricos deben iniciar campañas proactivas y tomar medidas prácticas para proteger la calidad natural del agua subterránea.

2. Evaluación de riesgos

2.1 ¿Cómo se contaminan los acuíferos?

Los acuíferos se pueden contaminar por fuentes puntuales, tales como lagunas de desechos o descarga de efluentes

provenientes de fábricas y minas, o por fuentes difusas, tal como el uso de fertilizantes y pesticidas agrícolas. El agua subterránea también se puede contaminar a través de la cabeza de pozo por perforaciones mal construidas/diseñadas (Fig. 8.1).

Cuando la contaminación del subsuelo no se controla adecuadamente y excede la capacidad natural de atenuación de los suelos y estratos subyacentes, los desechos contaminan el sistema de aguas subterráneas. En la zona vadosa (no saturada) los perfiles naturales del subsuelo atenúan en forma activa y efectiva muchos contaminantes, especialmente en las aguas fecales y residuales de origen doméstico, mediante degradación bioquímica y reacción química.

La preocupación por la contaminación del agua subterránea se relaciona principalmente con los acuíferos (nivel freático), especialmente donde la zona no saturada es delgada y el nivel freático es poco profundo. Los acuíferos más profundos y confinados cuentan con mayor protección natural por el suelo que los recubre. Las amenazas al agua subterránea provienen de una serie de fuentes (Fig. 8.1) y muchas son muy diferentes de las que suelen contaminar los cuerpos de aguas superficiales debido a diferencias en la movilidad y persistencia de los contaminantes en el subsuelo si se las compara con los cuerpos de agua superficial. Lo que queda en claro es que si se conoce la fuente, naturaleza y destino de los contaminantes, las medidas de control de la contaminación bien enfocadas pueden generar grandes beneficios a un costo relativamente modesto si las mismas apuntan a fuentes puntuales clave.

La intrusión salina es un caso muy especial de contaminación del agua subterránea que ocurre debido al bombeo excesivo de los acuíferos de agua dulce en zonas costeras, lo que provoca la intrusión lateral de agua salina que, al combinarse con el agua dulce, produce la salinización “irreversible” del acuífero. Éste problema lo padecen muchas ciudades costeras del mundo.

Los problemas de calidad del agua subterránea que ocurren en forma natural se analizan en el Módulo 3 referido a caracterización del agua subterránea.

Resumiendo:

- Los acuíferos pueden contaminarse por descargas de fuentes puntuales o de fuentes difusas.
- Por lo general, los acuíferos se contaminan cuando la contaminación no se controla adecuadamente y excede la capacidad natural de atenuación del suelo.
- La gestión de la calidad del agua subterránea requiere de la evaluación de la amenaza y del riesgo de contaminación del agua subterránea, de la definición de las zonas de vulnerabilidad para el agua subterránea, del monitoreo de las descargas de efluentes (por ejemplo, mediante un sistema de permisos), así como de la construcción de estructuras de contención (por ejemplo, lagunas de desechos revestidas) a fin de evitar o reducir la contaminación del agua subterránea.

Proporcione ejemplos de contaminación del agua subterránea en su país. ¿Cómo se puede evitar en el futuro? ¿Ambiente?

2.2 ¿Cómo se puede evaluar el peligro de contaminación del agua subterránea?

La evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea es necesaria para entender las acciones requeridas para proteger la calidad del agua subterránea, y debería ser un componente esencial de las mejores prácticas ambientales. El peligro de contaminación del agua subterránea es la interacción entre la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y la carga de contaminantes (Tabla 8.1). La vulnerabilidad del acuífero está esencialmente determinada por el ambiente hidrogeológico natural, pero la carga de contaminantes varía. Los niveles de agua subterránea y las presiones del agua modifican en cierto grado la vulnerabilidad de los acuíferos.

La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación se puede evaluar a partir de las características hidrogeológicas del material que lo recubre para producir un índice de vulnerabilidad que puede ser delineado. Hay una variedad de herramientas de evaluación de la vulnerabilidad que se pueden usar, por ejemplo, el método DRASTIC, en el que D = *Depth to water* (profundidad del agua), R = *net*

Recharge (recarga neta), A = *Aquifer media* (medios del acuífero), S = *Soil media* (medios del suelo), T = *topography* (topografía), I = *Impact of vadose zone* (impacto de la zona vadosa) y C = *hydraulic conductivity of the aquifer* (conductividad hidráulica del acuífero).

El mapa resultante de vulnerabilidad del agua subterránea es una herramienta importante para la gestión del desarrollo industrial/de infraestructura para reducir los impactos en la calidad del agua subterránea. La carga potencial contaminante también se puede representar y superponer en el mapa de vulnerabilidad del acuífero para proporcionar un mapa del riesgo de contaminación del agua subterránea (por ejemplo, Figura 8.2).

Si algún riesgo resulta en una amenaza para el agua subterránea, ello dependerá principalmente de su ubicación con respecto a las zonas de flujo de agua subterránea y a las áreas de captación, y de la movilidad de los contaminantes involucrados. Se debe identificar una serie de áreas y zonas con diferentes índices de riesgo. En términos de nuevos desarrollos, las industrias y actividades que generan significativas cargas contaminantes no deben establecerse en áreas con altos índices de peligro. Las diferentes escalas del estudio se aplicarán para proteger el abastecimiento de agua y los recursos del acuífero. En términos ideales, el centro de atención debería ser la protección de los recursos del acuífero.

Resumiendo:

- Se puede evaluar el riesgo de contaminación del agua subterránea considerando la combinación de vulnerabilidad del acuífero y la distribución, volumen y naturaleza de la carga contaminante.
- Las evaluaciones del riesgo de contaminación del agua subterránea deben impulsar a las autoridades a tomar medidas preventivas y correctivas para detener aquellas actividades que representen una amenaza real para la calidad del agua subterránea.

Figura 8.1 Actividades de uso de la tierra que comúnmente generan una amenaza de contaminación del agua subterránea (Nota informativa 8 de GW-Mate)

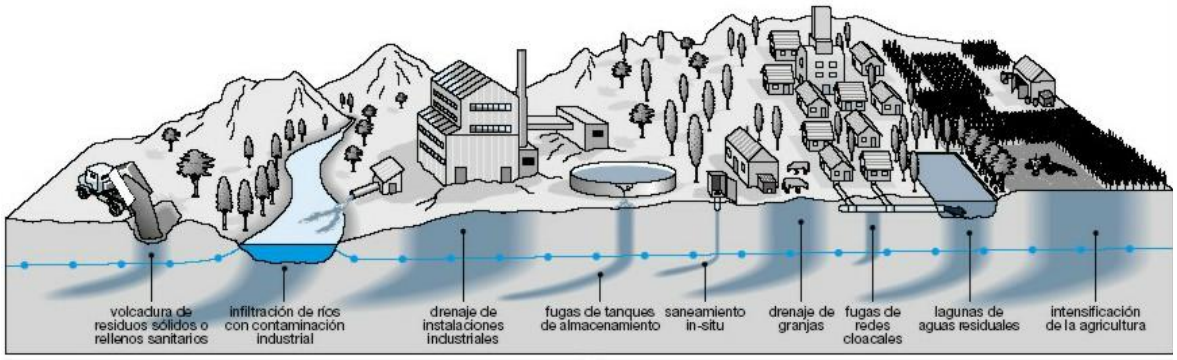
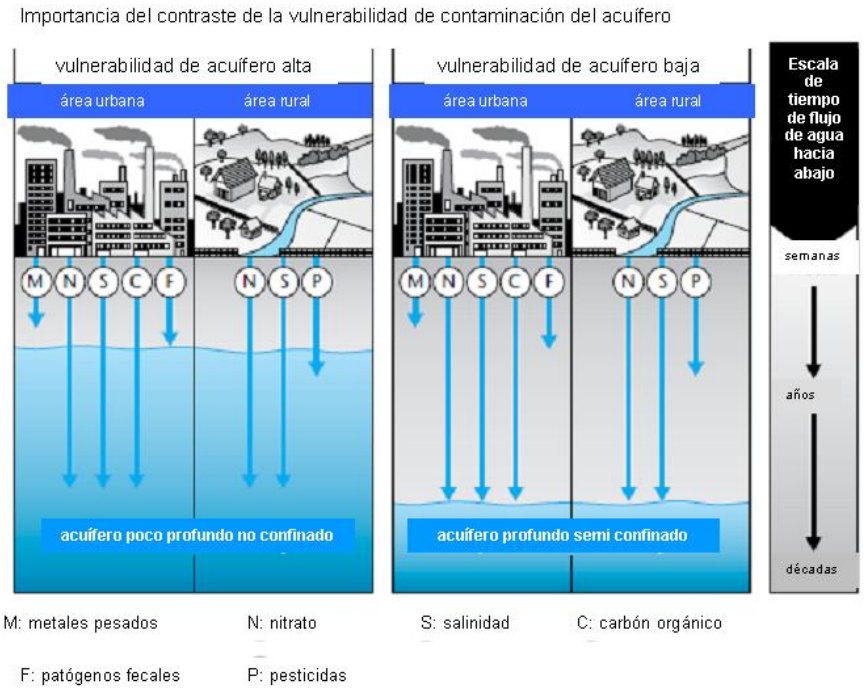


Tabla 8.1 Definición de términos comunes relacionados con la contaminación del agua subterránea

Término	Definición
Vulnerabilidad del acuífero a la contaminación	Sensibilidad a la contaminación determinada por las características intrínsecas naturales del estrato geológico que forma los lechos circundantes supra-yacentes o la zona vadosa del acuífero respectivo.
Peligro de contaminación del agua subterránea	Probabilidad de que el agua subterránea en un acuífero se contamine en concentraciones que exceden las pautas de la OMS para el agua potable cuando se genera en la superficie una carga determinada de contaminantes sub-superficiales.
Riesgo de contaminación del agua subterránea	Amenaza que este riesgo representa para la salud humana por la contaminación de una fuente específica de abastecimiento de agua subterránea o por la contaminación de un ecosistema debido a una descarga específica de un acuífero natural.

Figura 8.2 El riesgo para el agua subterránea es una combinación de peligro de contaminación y vulnerabilidad del acuífero



2.3 ¿Cómo se mide y se controla la calidad del agua subterránea?

Un aspecto clave en la gestión de la calidad del agua subterránea es el monitoreo de la calidad del agua en perforaciones seleccionadas, especialmente en las áreas que están en riesgo. La calidad se puede medir a través del muestreo y análisis del agua subterránea de pozos seleccionados. El monitoreo puede ser proactivo con pozos de monitoreo instalados antes de iniciar una actividad que puede generar contaminación, de modo de poder medir los cambios en la condición del agua subterránea a medida que ocurren. Alternativamente, el monitoreo puede ser reactivo con pozos de monitoreo instalados para monitorear la contaminación en una instalación/actividad existente. Este tema es abordado con mayor detalle en el Módulo (9) sobre monitoreo del agua subterránea.

Hay varios temas relacionados con el monitoreo de la calidad del agua subterránea que se deben tener en cuenta, lo que hace que la tarea sea considerablemente más compleja. El costo de los análisis químicos puede ser muy alto, dependiendo de los parámetros analizados. En varios casos, especialmente en cuanto a agroquímicos orgánicos y reactivos industriales, es probable que los laboratorios locales no estén equipados para realizar los análisis requeridos. En la medida de lo posible, se debería identificar y medir parámetros de indicadores económicos como alternativa a un análisis químico completo. Los pozos de muestreo que no se usan a diario deben purgarse por completo antes del muestreo. Los puntos de muestreo deben seleccionarse cuidadosamente y para ello es necesario comprender claramente los patrones de flujo de agua subterránea y conocer la ubicación de las fuentes de contaminación.

¿Qué controles ejerce sobre la contaminación del agua subterránea? ¿Son efectivos?

También hay que tener en cuenta la frecuencia del muestreo y estará basada en la sensibilidad del problema de contaminación y la frecuencia del flujo inducido por los eventos de recarga del agua subterránea.

3. Sistemas de gestión de la calidad y contaminación del agua subterránea

3.1 Protección del agua subterránea contra la contaminación

La gestión de la calidad del agua subterránea implica la protección de los acuíferos y del agua subterránea contra el ingreso de contaminantes y también el

saneamiento/tratamiento de los recursos contaminados. Cabe destacar que el tratamiento del agua subterránea contaminada es complejo, costoso y a menudo exitoso solo en parte y puede llevar varios años de tratamiento restaurar la calidad del agua subterránea.

La calidad del agua subterránea puede variar desde agua potable de alta calidad hasta una sustancia completamente tóxica, con un amplio rango de calidades de agua en el medio. Además de la protección y el saneamiento, la gestión de la calidad del agua subterránea puede incluir diferentes calidades de agua para diferentes usos y la combinación de diferentes calidades de agua para proporcionar más agua subterránea de calidad intermedia pero que aún así se considera aceptable para algún uso particular.

La gestión de la calidad del agua subterránea debe ser proactiva y debe intentar prevenir su contaminación, evitando así el prolongado, costoso y a menudo ineficaz tratamiento de los acuíferos contaminados.

La protección del agua subterránea inicialmente comprende dos aspectos clave:

1. evaluación de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación (Fig. 8.3) y
2. representación de los riesgos de contaminación del agua subterránea.

Juntos, estos dos factores pueden utilizarse para generar un mapa de riesgos de contaminación del agua subterránea. Dichos mapas pueden utilizarse para determinar el emplazamiento de nuevos emprendimientos de modo tal de reducir el riesgo de contaminación del agua subterránea en áreas sensibles. También se pueden utilizar en áreas ya desarrolladas para evaluar las probables zonas que están en riesgo o que han sido contaminadas por actividades en curso.

Una vez que los riesgos han sido identificados y evaluados, se pueden implementar ciertas prácticas de gestión de la calidad del agua subterránea, tales como:

- monitoreo de la calidad del agua subterránea para evaluar el estado real de la calidad del agua y los cambios que se producen con el tiempo;
- prohibición de ciertas actividades en áreas sensibles o vulnerables;
- prohibición de eliminación de ciertos desechos, excepto en instalaciones selladas;
- gestión de la calidad y cantidad de efluentes y de la eliminación de desechos a partir de una serie de permisos;
- monitoreo del cumplimiento con regulaciones/permisos.

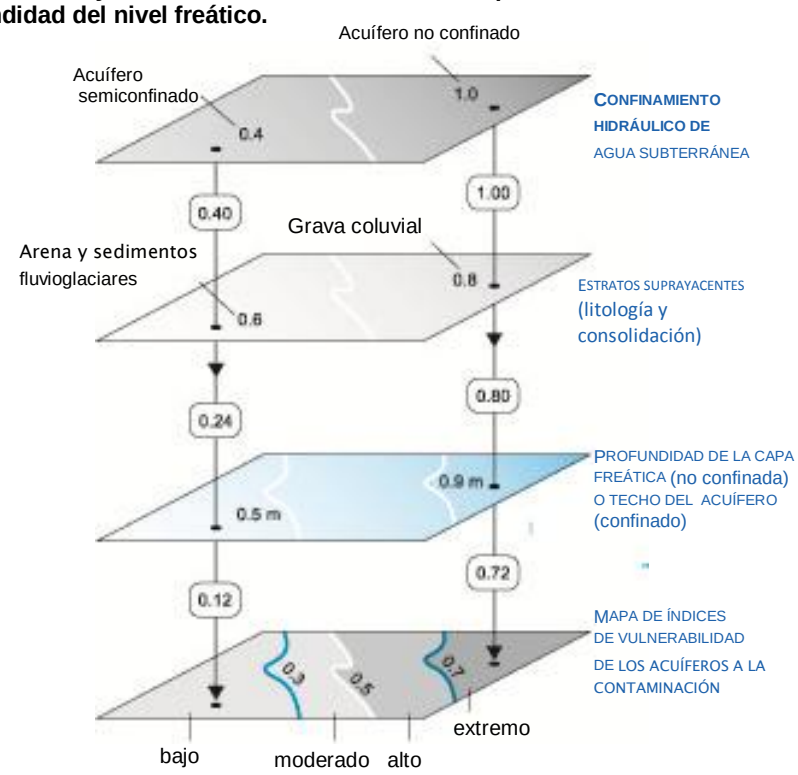
Además, se pueden implementar medidas de rehabilitación cuando se lo considere necesario y viable; por ejemplo:

- bombeo y tratamiento de aguas subterráneas contaminados;
- bombeo/inyección en pozo para revertir el gradiente hidráulico a fin de proteger el agua subterránea cambiando el patrón de flujo de agua subterránea;
- construcción de barreras físicas tales como muros de cemento o lechada;
- tratamiento químico o bacteriano in situ del agua subterránea contaminada.

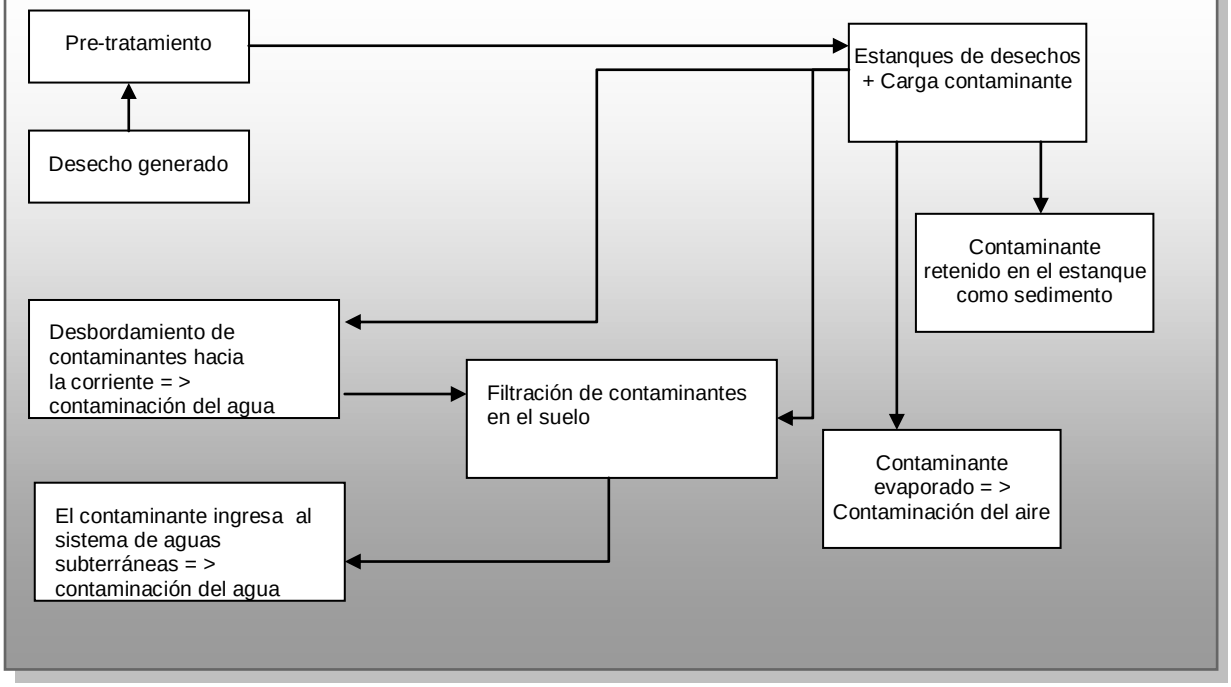
Figura 8.3 Los mapas de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación representan un parámetro de entrada fundamental para gestionar y proteger la calidad del agua subterránea. Como lo muestra la metodología GOD a continuación, el confinamiento hidráulico, la permeabilidad de la zona no saturada y la profundidad del nivel freático son factores clave de vulnerabilidad de los acuíferos.

3.2 El ciclo de vida de los desechos y contaminación del agua subterránea

Figura 8.3 Los mapas de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación representan un parámetro de entrada fundamental para gestionar y proteger la calidad del agua subterránea. Como se muestra en la metodología GOD a continuación, los factores clave de vulnerabilidad de los acuíferos incluyen el confinamiento hidráulico, la permeabilidad de la zona no saturada y la profundidad del nivel freático.



Cuadro 8.1 Ciclo de vida de los contaminantes: fuentes y sumideros del equilibrio de contaminantes



El material de desecho se genera a través de varios procesos industriales, mineros y domésticos. Puede o no estar previamente tratado ya sea para extraer componentes valiosos o para reducir su toxicidad ambiental. Lo peor que podría pasar es que se lo descargue directamente en el ambiente, pero teóricamente los desechos o efluentes se descargan en estanques de desechos. Dichos estanques o receptáculos para desechos podrán estar revestidos o diseñados de modo tal de no permitir que los desechos ingresen al

subsuelo y contaminen el agua subterránea. El Cuadro 8.1 muestra el ciclo de vida ideal completo de un contaminante, con varias etapas de tratamiento y gestión. En una situación de gestión deficiente, es probable que muchos de estos pasos se pasen por alto.

Cada vez hay más conciencia sobre la necesidad de controlar la contaminación, generalmente mediante un sistema de permisos. Un permiso especificará la clasificación del contaminante y el volumen de los desechos; cuanto más alto sea el riesgo del contaminante, más alta será la clasificación y el costo del permiso de descarga de efluentes. Se puede utilizar un estudio de equilibrio de contaminantes para determinar el destino final de los materiales de desecho y la cantidad de contaminantes que realmente ha ingresado en el suelo.

3.3 ¿Qué implica proteger el agua subterránea contra la contaminación?

Como hemos visto, para proteger los acuíferos contra la contaminación es esencial limitar el uso de la tierra, la descarga de efluentes y las prácticas de eliminación de desechos.

Una estrategia ampliamente usada ha sido el establecimiento de zonas de protección del agua subterránea (Fig. 8.4). Se pueden establecer zonas simples y contundentes en las que se indicará qué actividades son aceptables/posibles. Dichas zonas deben incorporarse a la legislación y a los mapas de planificación de pueblos/ciudades, y se deben utilizar para guiar varios desarrollos. Esas zonas juegan un rol clave en el establecimiento de prioridades para monitorear la calidad del agua subterránea, realizar auditorías ambientales, etc., y pueden ayudar a reducir los costos de producción de mapas de calidad del agua subterránea.

Existe la necesidad de mantener un equilibrio sensato entre la protección de los acuíferos y las perforaciones, pero son más aceptables las estrategias orientadas a los acuíferos. Es posible que no sea rentable proteger todas las partes de un acuífero por igual. Esto dependerá del uso del agua subterránea, de la carga contaminante, de la trayectoria del escurrimiento, etc.

Resumiendo:

- Se debe gestionar el uso de la tierra, la descarga de efluentes y las prácticas de eliminación de desechos para proteger los acuíferos contra la contaminación.
- Se deben establecer zonas simples y contundentes en las que se indique las actividades que son aceptables/posibles.

¿Quién gestiona/mantiene las zonas de protección del agua subterránea en su país? ¿Hay alguna reforma que usted recomendaría?

3.4 ¿Quién debe promover la protección contra la contaminación del agua subterránea?

El principio de “quien contamina paga” se debería aplicar a la contaminación del agua subterránea. Sin embargo, puede que sea difícil determinar con exactitud la fuente de contaminación cuando la contaminación es difusa y en ambientes urbano-industriales donde hay múltiples fuentes puntuales contaminantes.

La responsabilidad final de proteger el agua subterránea contra la contaminación debe recaer en el respectivo organismo gubernamental nacional o local. Sin embargo, las empresas que prestan servicios de agua también tienen la obligación de ser proactivas en llevar a cabo evaluaciones de riesgos de contaminación en las fuentes de agua subterránea que utilizan.

GW-MATE (2002) ha elaborado una guía técnica para los profesionales del agua subterránea a fin de ayudarlos a llevar a cabo evaluaciones de riesgos de contaminación para empresas públicas de abastecimiento de agua y a desarrollar estrategias de protección contra la contaminación para agencias ambientales. Debería existir una interacción entre la respectiva autoridad del agua subterránea o agencia ambiental y las diferentes industrias/emprendimientos que generan cargas contaminantes sobre la base de los mapas de riesgos de contaminación del agua subterránea y las cargas contaminantes generadas.

Se puede utilizar un sistema de permisos y regulaciones para gestionar las descargas de desechos y para especificar lo que se puede descargar y los parámetros de diseño para diferentes receptáculos/estanques de desechos, dependiendo de la movilidad y

toxicidad del material de desecho. Para ser rentables, dichos sistemas no deben ignorar las consideraciones de vulnerabilidad y protección de los acuíferos naturales.

Resumiendo:

- El principio de "quien contamina paga" se debe aplicar en casos de contaminación del agua subterránea.
- La responsabilidad final de protección del agua subterránea contra la contaminación debe recaer en la respectiva agencia gubernamental nacional o local.

3.5 Calidad del agua subterránea y del agua residual urbana

Las aguas residuales urbanas pueden considerarse un caso especial en la gestión de la calidad del agua subterránea. Esto se debe a que la generación de aguas residuales urbanas es inevitable, ubicua y en constante crecimiento a medida que crecen las ciudades. Además, hay beneficios muy reales que se pueden obtener con las aguas residuales urbanas tales como recarga de aguas subterráneas y suministro de agua para riego de ciertos cultivos. Junto a tales beneficios, las aguas residuales urbanas también presentan riesgos reales en términos de patógenos bacterianos y desechos industriales con una amplia variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas.

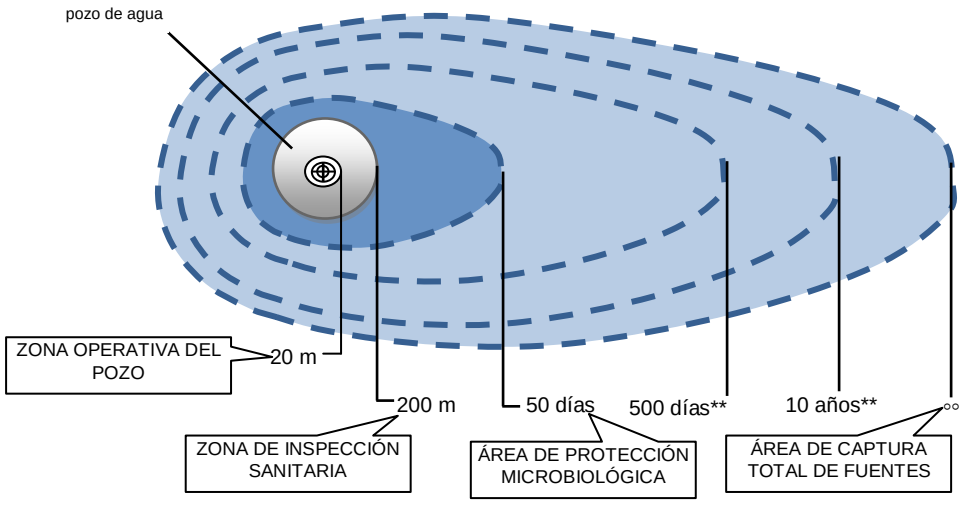
¿Cómo se relacionan las aguas residuales urbanas con el agua subterránea?

La generación de aguas residuales aumenta día a día en la mayoría de las ciudades en crecimiento y la gestión de dichas aguas es un gran problema para las ciudades, especialmente en los países en desarrollo. Desafortunadamente, muchos sistemas de alcantarillado descargan directamente en los cursos de aguas superficiales con un tratamiento mínimo y poca dilución en la estación seca. Las rudimentarias y simples prácticas de manejo y reuso de las aguas residuales en los países en desarrollo tienden a generar altas tasas de infiltración en los acuíferos subyacentes, especialmente en las zonas con climas más áridos. La infiltración a través del suelo mejora la calidad del agua residual y la almacena para uso futuro, pero también puede contaminar el agua subterránea. La Figura 8.5 (A) muestra una típica práctica de gestión de aguas residuales en muchas ciudades en desarrollo, mientras que la Figura 8.5 (B) indica algunas adaptaciones simples que ayudan a mejorar la situación.

La infiltración de aguas residuales en el agua subterránea se produce directamente desde las plantas de saneamiento y de aguas residuales y por el riego agrícola con aguas residuales. La recarga de los acuíferos es una parte integral de los procesos de reuso de aguas residuales. Asimismo, el agua residual es muy popular entre los agricultores pobres porque está disponible durante todo el año y por su alto contenido de nutrientes; no obstante, constituye un riesgo para la salud pública.

¿Qué tipos de medidas existen para reducir los riesgos e incrementar los beneficios?

Figura 8.4. Las zonas de protección del agua subterránea son una herramienta simple pero poderosa para proteger fuentes de aguas subterráneas importantes. Se imponen limitaciones a distintas actividades, según sea la zona, generalmente basadas en el tiempo de escurrimiento hasta el punto de extracción.



** área empírica de radio fijo
** perímetros según el tiempo de escurrimiento intermedio

Debido a que a menudo se prefiere el agua subterránea para el abastecimiento público de agua y a que también es ampliamente utilizada para uso doméstico privado, la contaminación de los acuíferos con aguas residuales es un tema serio. En los países en desarrollo, no se podrá avanzar mucho en reducir este riesgo simplemente propugnando rigurosos estándares de calidad, que pueden no ser alcanzables.

Es importante identificar intervenciones rentables e inversiones crecientes a fin de reducir los riesgos para los usuarios del agua subterránea. Es prioritario mejorar la caracterización de las aguas residuales para evaluar el riesgo de contaminación del agua subterránea. Si hay contaminantes persistentes en las aguas residuales, lo mejor es controlarlos en la fuente recolectándolos y eliminándolos por separado.

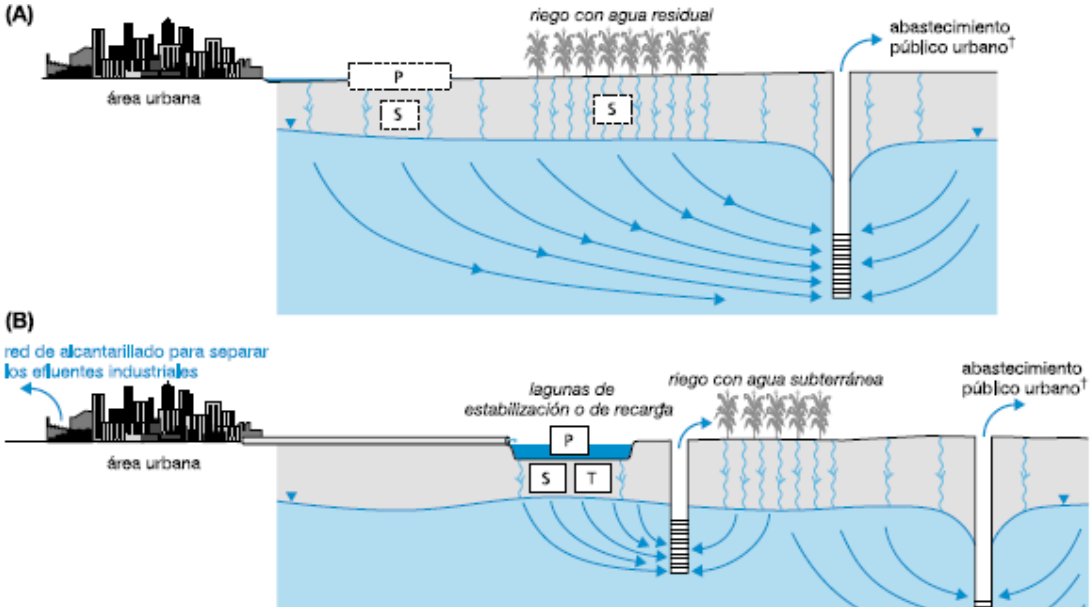
La principal recarga incidental de acuíferos mediante el manejo y reuso de aguas residuales es tan generalizada que debería incluirse como una parte integral de la gestión de las aguas residuales, y planificarse como corresponde. Siempre es importante considerar tanto los beneficios como los riesgos de la recarga de aguas residuales en los acuíferos y la manera en que los ambientes hidrogeológicos varían con respecto a la vulnerabilidad a la contaminación.

¿Qué sucede con las aguas residuales de sus ciudades?

③ La compatibilidad entre el reuso de las aguas residuales y los intereses de suministro del agua subterránea se pueden lograr mediante:

- el incremento de la profundidad y la mejora de sellado sanitario de pozos de agua potable;
- el establecimiento de áreas de protección de fuentes apropiadas para tales pozos de agua;
- el sellado de estanques para el tratamiento de las aguas residuales (Fig. 8.5 B);
- el monitoreo creciente de contaminantes en aguas subterráneas;
- la utilización de pozos de riego para recuperar la mayor parte de la infiltración de las aguas residuales y proporcionar una "barrera hidráulica" para la protección de los suministros de agua potable (Fig. 8.5 B);
- una mejor eficiencia del uso del agua de riego y por ello, la recarga de aguas residuales para los acuíferos subyacentes;
- el estímulo a las restricciones en el uso de pozos domésticos

Figura 8.5 Esquemas generales de generación, tratamiento, reuso e infiltración de aguas residuales en los acuíferos.
A: situación que ocurre comúnmente sin planificación ni control;
B: lagunas de recarga/tratamiento.



privados de poca profundidad.

Referencias y lecturas en la web

EPA, Groundwater and Drinking Water. www.epa.gov/safewater/
Groundwater Quality Home Page. www.state.sd.us/denr/des/ground/groundprg.htm
Foster S., R. Hirata, D. Gomes, M. D´Elia & M. Paris. 2003. Protección de la calidad del agua subterránea. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. 2003. World Bank-GW MATE. ISBN 84-8476-146-0.
GW•MATE, 2002-2006, Nota informativa 8. http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,contentMDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:4602123,00.html.
Purdue University, GROUNDWATER PRIMER - Water Quality. www.purdue.edu/envirosoft/groundwater/src/quality.htm
Univ. of California, 2003. Groundwater Quality and Groundwater Pollution. http://groundwater.ucdavis.edu/Publications/HarterFWQFS_8084.pdf

EJERCICIO

Objetivo: compartir experiencias en problemas de calidad del agua subterránea.
Actividad: división en grupos de 4 ó 5. 1 hora.
Cada grupo debe:

1) Identificar un problema común de calidad del agua subterránea en uno de sus países.
2) Analizar la naturaleza y escala del problema: ¿es antropogénico o natural?
3) ¿Cómo se está manejando el problema y quién es el responsable?
4) ¿Cuáles han sido los objetivos? ¿Ha tenido éxito?
5) ¿Qué cambiaría para mejorar el manejo del problema?

Presentación de informes: 15 minutos por grupo.

Ejercicio alternativo:
Gestión de desechos: juego de roles

Se le solicita mejorar la gestión de desechos/eliminación de efluentes en la ciudad capital de su país. Los participantes se dividen en partes interesadas: administradores de recursos hídricos/aguas subterráneas; empresas de eliminación de desechos; efluentes industriales; grupos de ciudadanos; políticos.

Los administradores de los recursos hídricos deben proponer reformas radicales para mejorar todos los aspectos de la gestión de desechos en la ciudad con el propósito específico de proteger la calidad del agua subterránea (y de las aguas superficiales). Las demás partes interesadas deben plantear preguntas sobre el impacto que tendrán los cambios y hacer objeciones o sugerencias a los administradores de los recursos hídricos.

Preparación: 20 minutos
Debate: 40 minutos.

Módulo 9: Monitoreo del agua subterránea

Objetivos de aprendizaje:

- Por qué y cómo monitorear los cambios en el nivel de agua de los acuíferos con el correr del tiempo.
- Por qué y cómo monitorear los cambios en la calidad del agua con el correr del tiempo.
- Cómo monitorear el cumplimiento.
- Cómo gestionar la respuesta del acuífero y las amenazas a la calidad.

1. Introducción

El monitoreo y la obtención de datos sobre el agua subterránea son condiciones necesarias para cualquier gestión efectiva de las mismas. El monitoreo hace que el agua subterránea sea visible. El monitoreo puede incluir la calidad y disponibilidad del recurso mismo, y el cumplimiento con las normas y los permisos de extracción y eliminación. Ante la falta de monitoreo, la extracción de agua subterránea y la eliminación de desechos se realiza sin ninguna protección de este recurso vital, y el uso excesivo y la contaminación de un acuífero pueden continuar sin ningún tipo de control durante años hasta que esa fuente de agua subterránea se destruya totalmente.

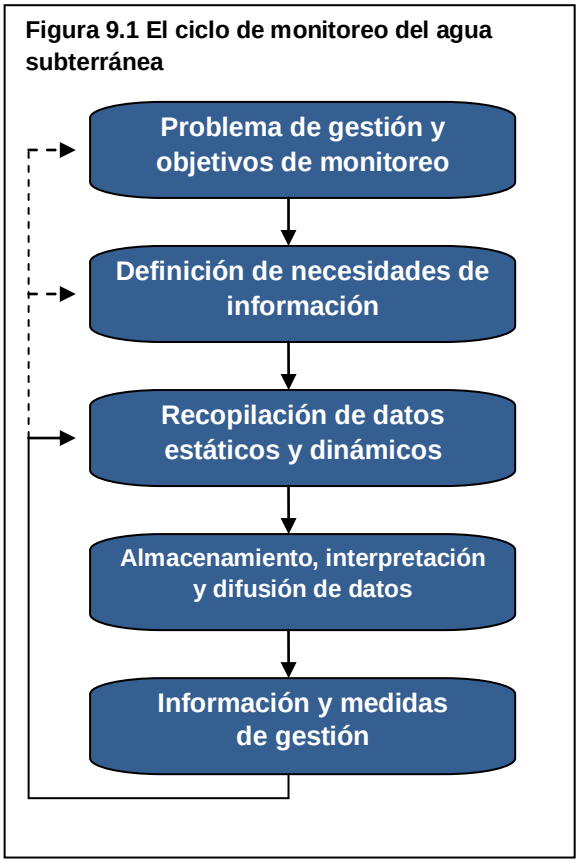
El diseño y la operación de cualquier sistema de monitoreo de aguas subterráneas debe planificarse cuidadosamente de modo que se pueda obtener en forma sustentable y rentable información útil y relevante para la gestión. En las etapas iniciales, es aconsejable concentrar las actividades de monitoreo en objetivos críticos tales como acuíferos con bombeo excesivo y agua subterránea estratégica. Así, la red de monitoreo se puede desarrollar paulatinamente, expandiéndose según sea necesario y a medida que se disponga de recursos y de personal.

1.1 Ciclo de monitoreo del agua subterránea

El monitoreo de los acuíferos y del agua subterránea mejora la evaluación y gestión de las aguas subterráneas. Dado que el agua subterránea es un recurso extenso, oculto y relativamente inaccesible, su gestión no es para nada simple y requiere de datos que solo se pueden recopilar mediante el monitoreo de una serie de parámetros del agua subterránea. Los cambios en la cantidad y calidad son procesos muy lentos que ocurren bajo grandes áreas de tierra que no se pueden determinar por simples relevamientos instantáneos. Es por ello que es necesario contar con redes de monitoreo e interpretación de datos que proporcionen insumos clave sobre los diferentes efectos de la extracción y contaminación del agua subterránea.

El ciclo de monitoreo incluye un sistema completo de definición de problemas, objetivos de gestión, necesidades de información, obtención de datos, almacenamiento, interpretación y difusión de datos que origina información exacta y relevante y las consiguientes acciones de gestión. Muy a menudo se recopilan datos, pero nunca se los almacena adecuadamente, ni se los interpreta para necesidades prácticas de gestión, ni se los difunde a las partes interesadas. Dicho monitoreo incompleto puede ser totalmente ineficaz y lo que es peor, puede hacer que las partes interesadas crean que la gestión de las aguas subterráneas es correcta. La Figura 9.1 explica el ciclo de monitoreo.

Figura 9.1 El ciclo de monitoreo del agua subterránea



Básicamente, hay dos tipos diferentes de monitoreo. Estos son el monitoreo de recursos, que es esencialmente una actividad científica, y el monitoreo del cumplimiento, que es más una actividad de la comunidad.

El monitoreo de recursos considera los cambios en la calidad y cantidad de agua subterránea en el tiempo, mientras que el monitoreo del cumplimiento evalúa el comportamiento de las partes interesadas/usuarios del agua subterránea y el impacto de sus actividades en dichos recursos.

1.2 Beneficios del monitoreo

Una de las razones más importantes del monitoreo es garantizar que no se produzca una extracción "excesiva" de agua subterránea y que se eviten las consecuencias, Fig. 9.2.

- A medida que se bombea agua subterránea, los niveles de agua bajan, el costo del bombeo aumenta y el flujo base/descargas en vertientes se reduce. Éstas son las consecuencias normales de cualquier bombeo de aguas subterráneas y son impactos reversibles.
- A medida que el bombeo continúa aumentando, el acuífero comienza a compactarse con la consiguiente reducción en transmisividad y mayor reducción en los rendimientos de los pozos. Los impactos ecológicos también aumentan produciendo daños y pérdida de vegetación freatofítica. La calidad del agua también comienza a bajar.
- Cuando el bombeo es excesivo, se producen impactos irreversibles y daños permanentes en los acuíferos. La intrusión de agua salina y el ingreso de agua contaminada son dos efectos que son muy difíciles y hasta imposibles de revertir en cualquier escala de tiempo razonable. La compactación permanente del acuífero puede provocar el asentamiento del suelo y la consiguiente pérdida de capacidad de almacenamiento.
- Dichos impactos se pueden evitar mediante un monitoreo bien diseñado de las respuestas del acuífero al bombeo, combinado con efectivas intervenciones de gestión para reducir la extracción.

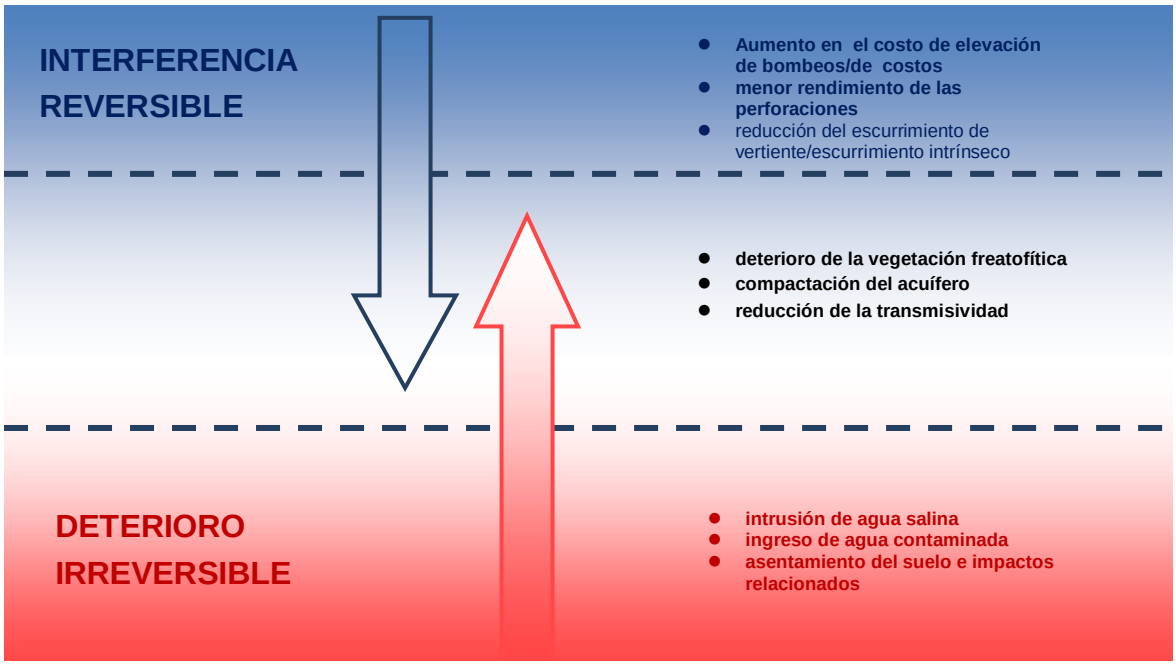
1.3 ¿Cómo se realiza el monitoreo?

Toda red de monitoreo debe estar diseñada para lograr objetivos específicos determinados por una serie de preguntas sobre gestión con respecto a uno o más aspectos del agua subterránea.

¿Puede comentar sobre los beneficios y desafíos del monitoreo del agua subterránea en su país?

En una situación ideal, se instalarán pozos de observación o monitoreo específicos. Dichos pozos **son puntos clave en los acuíferos**, que permiten medir el nivel del agua

Figura 9.2 Las consecuencias de sobre-extracción



subterránea, la presión piezométrica y la calidad del agua. Estos pozos deben estar ubicados y diseñados para detectar posibles cambios en el flujo y en la calidad del agua subterránea. Una serie de pozos de observación junto con una selección de pozos de extracción normalmente constituyen una **red de monitoreo**, diseñada para

- detectar cambios en el almacenamiento, flujo y calidad del agua subterránea;
- evaluar riesgos específicos para el acuífero;
- evaluar la recarga y descarga del acuífero.

A fin de proporcionar un cuadro de situación completo, los sistemas de monitoreo también deben evaluar

- tasas de extracción;
- cumplimiento del usuario con los permisos de extracción y de descarga de efluentes.

La Tabla 9.1 sintetiza el tipo de información necesaria para el monitoreo.

2. ¿Cómo podemos garantizar que el monitoreo del agua subterránea sea rentable?

Es costoso e innecesario implementar el monitoreo de aguas subterráneas sin un objetivo, y ello lleva a un uso ineficiente de mano de obra y de recursos. El monitoreo efectivo del agua subterránea se debería regir por un objetivo específico, y los datos recopilados no solo se deben utilizar para el propósito explícito del programa de monitoreo sino que también se deben almacenar sistemáticamente para uso futuro.

En la Fig. 3.2 (Módulo 3) se indican las diferentes etapas de la explotación de los acuíferos. Durante las primeras etapas, el monitoreo no es esencial, aunque se aconseja el monitoreo básico si se dispone de los recursos. A medida que el acuífero se utiliza, el monitoreo del agua subterránea se torna esencial. En cualquier etapa es aconsejable monitorear los recursos de agua subterránea estratégicamente importantes y los que estén bajo posible amenaza de contaminación o salinización.

El objetivo del monitoreo es mostrar los cambios que sufre el agua subterránea a través del tiempo, y por consiguiente, permitir que los administradores introduzcan cambios y restricciones en el modo en que se utiliza el agua subterránea para minimizar el efecto negativo de estos impactos.

Tabla 9.1 Tipos de datos requeridos para la gestión de las aguas subterráneas

TIPO DE DATOS	DATOS BÁSICOS (De archivos)	DATOS DINÁMICOS (de estaciones de campo)
Presencia de aguas subterráneas y propiedades del acuífero	• Registros de pozos de agua (registros hidrológicos, niveles instantáneos y calidad del agua subterránea) • Pruebas de bombeo de pozos y acuíferos	• Monitoreo del nivel de agua subterránea • Monitoreo de la calidad del agua subterránea
Uso del agua subterránea	• Instalaciones de bombeo de pozos de agua • Inventarios de usos del agua • Pronósticos y registros poblacionales • Consumo de energía para riego	• Monitoreo de extracciones de pozos de agua (directas o indirectas) • Variaciones del nivel de agua subterránea en los pozos
Información complementaria	• Datos del clima • Inventarios de usos de la tierra • Mapas/secciones geológicas	• Medición del caudal de los ríos • Observaciones meteorológicas • Estudios satelitales del uso de la tierra

En la Fig. 9.3 se presenta una condición teórica de extracción excesiva en la que se han implementado medidas para reducir el bombeo a fin de estabilizar la situación. La recopilación continua de datos de monitoreo les permitirá a los administradores revisar la eficiencia de las restricciones introducidas y realizar las modificaciones que sean necesarias. Este ejemplo simplifica la realidad considerablemente ya que los acuíferos son generalmente muy heterogéneos, la recarga tanto espacial como temporal es altamente

variable y los sistemas de flujo del agua subterránea son complejos.

Se puede mejorar la efectividad del monitoreo del agua subterránea prestando suma atención al diseño de redes, a la implementación de los sistemas y a la interpretación de los datos. Se debe usar y no descartar o perder los datos recopilados por actividades de monitoreo anteriores. Se debe tratar de brindar fácil acceso a las estaciones de monitoreo. En la medida de lo posible, hay que usar determinantes de indicadores ya que pueden reducir significativamente los costos analíticos. Se debe garantizar la precisión del monitoreo, tanto para los parámetros físicos como químicos, mediante la incorporación de procedimientos de control de calidad. El auto-monitoreo complementario entre los usuarios del agua ayuda a reducir los costos y aumenta la concienciación y la participación de las partes interesadas en la gestión de las aguas subterráneas.

- Monitorear el agua subterránea porque sí es innecesario y caro.
- Los sistemas/redes de monitoreo deben estar específicamente diseñados para un propósito explícito.
- Si bien el monitoreo del agua subterránea es costoso, en el largo plazo puede ser muy rentable ya que se ahorra agua subterránea y se reducen los costos de saneamiento.
- La participación de las partes interesadas en el monitoreo puede ayudar a reducir costos y a mejorar la concienciación sobre el agua subterránea.

2.1 Diseño básico de una red de monitoreo

A pesar de que el diseño de una red de monitoreo efectiva requiere de una cantidad significativa de datos y de conocimientos especializados, se pueden dar algunas pautas básicas para brindar una comprensión inicial sobre el diseño del monitoreo.

Figura 9.3 El monitoreo combinado con medidas de gestión (bombeo reducido en este caso) puede llevar a una explotación más estable del agua subterránea

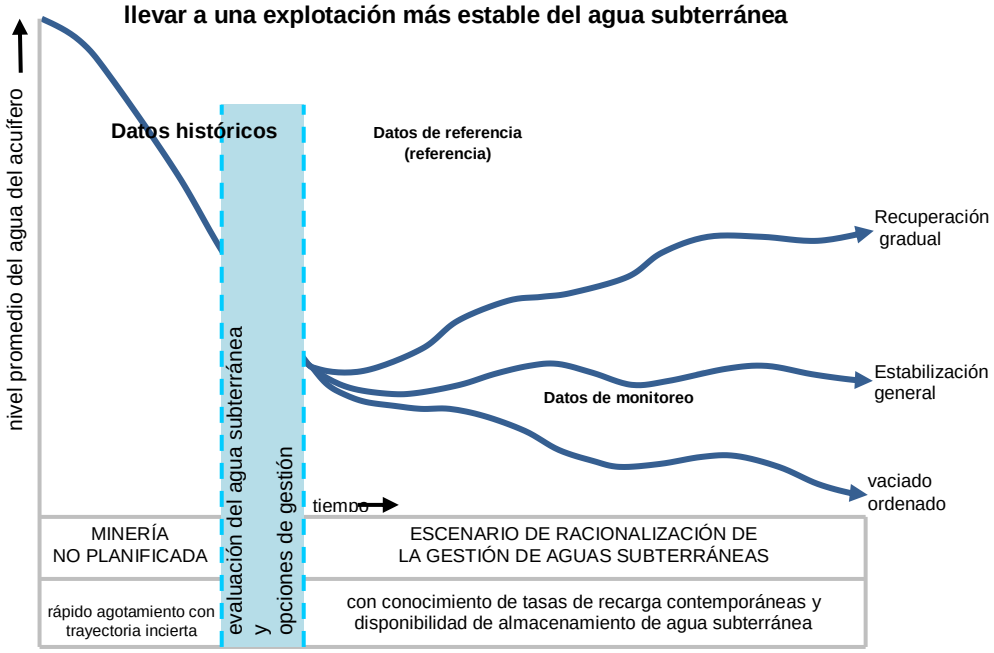


Figura 9.3: El monitoreo combinado con medidas de gestión (bombeo reducido, en este caso) puede llevar a una explotación más estable del agua subterránea.

Si bien el monitoreo del agua subterránea a menudo se considera costoso, el rendimiento a largo plazo puede ser sustancial en términos de ahorro de agua y de reducción de costos de tratamiento.

¿Cuál es el objetivo del monitoreo?

Ésta es la primera pregunta básica a responder. ¿El monitoreo sirve para garantizar el cumplimiento con los permisos de extracción o descarga de efluentes; o para

evaluar los efectos del bombeo intensivo en un pozo que suministra agua a una industria crítica; o para monitorear los efectos en la calidad del agua subterránea en un acuífero vulnerable de una planta de eliminación de desechos? ¿O el monitoreo se lleva a cabo como datos de referencia científicos para evaluar las tasas naturales de recarga y la calidad del agua? (Tabla 9.2)

Tabla 9.2 Clasificación de los sistemas de monitoreo de aguas subterráneas por función

SISTEMA	FUNCIÓN BÁSICA	UBICACIÓN DE LOS POZOS
Primario (monitoreo de referencia)	**Evaluación del comportamiento general del agua subterránea:** ● Tendencias que resultan del cambio en el uso de la tierra y de la variación climática. ● Procesos tales como recarga, **flujo** y contaminación difusa.	● En áreas uniformes con respecto a la hidrología y uso de la tierra.
Secundario (monitoreo de protección)	Protección contra los posibles impactos en: ● Aguas subterráneas estratégicas ● Campos de pozos/manantiales para abastecimiento público de agua. ● Infraestructura urbana por asentamiento del suelo ● Sitios arqueológicos frente a niveles freáticos en aumento ● Ecosistemas dependientes del agua subterránea	● Áreas circundantes/instalaciones/características que deben ser protegidas
Terciario (contención de la contaminación)	Alerta temprana de los impactos del agua subterránea debido a: ● Uso intensivo de tierras agrícolas ● Sitios industriales ● Rellenos sanitarios de desechos sólidos ● Áreas de recuperación de tierras ● Canteras y minas	● Inmediatamente abajo y arriba, según el gradiente hidráulico a partir de la amenaza.

Cabe destacar que el monitoreo solo se debe llevar a cabo cuando hay algún tipo de amenaza al agua subterránea. Los acuíferos que son muy utilizados, o que muestran una gran reducción en el nivel de agua o que son altamente vulnerables a la contaminación deben monitorearse primero. No se justifica monitorear los acuíferos pequeños que abastecen a comunidades rurales aisladas.

¿Qué monitorear?

El propósito del monitoreo es controlar los parámetros que deben ser monitoreados. A los efectos de la gestión del recurso, se requerirán tasas específicas de extracción de los pozos de producción de alto rendimiento y de los niveles de agua distribuidos espacialmente en el tiempo para evaluar el efecto del bombeo en el acuífero.

El monitoreo de la contaminación requerirá de un muestreo y análisis del agua subterránea para el contaminante específico en consideración (o un parámetro indicador alternativo que sea más fácil y económico de analizar) a fin de brindar una representación adecuada de la ubicación y concentración del contaminante real. El monitoreo de descargas de efluentes es una parte importante del monitoreo de la contaminación.

El monitoreo de la intrusión salina requiere del monitoreo de la conductividad eléctrica en los pozos a diferentes profundidades. El monitoreo de la contaminación en una recarga reciente requiere del monitoreo de la zona no saturada o de los niveles superiores del acuífero.

Hay muchas razones posibles para establecer un sistema de monitoreo, y lo que se monitorea será tan diverso como estas razones. También puede ser necesario monitorear una cantidad de parámetros diferentes para caracterizar correctamente la respuesta del sistema de aguas subterráneas en el tiempo.

¿Dónde monitorear?

Para realizar un monitoreo efectivo, es esencial comprender el sistema de flujo de agua subterránea, así como la ubicación de las áreas de recarga y descarga. Los pozos de monitoreo deben estar correctamente emplazados para que puedan proporcionar la información requerida. Por ejemplo, no tiene mucho sentido monitorear el gradiente de calidad del agua de una fuente de contaminación puntual ya que el flujo de agua subterránea arrastrará a los contaminantes

hacia afuera del pozo de monitoreo. Los efectos de la densidad, solubilidad, difusión, dispersión y adsorción en el movimiento de cada contaminante específico también tienen un impacto en la forma en que se esparcirán en el sistema de aguas subterráneas. Es probable que los contaminantes densos e inmiscibles se hundan en el fondo del acuífero mientras que los líquidos livianos flotarán en la superficie del agua subterránea.

En términos de recursos de acuíferos, las áreas de recarga y descarga pueden ser significativas. Posiblemente se produzcan considerables disminuciones del nivel de agua en las zonas de recarga y de flujo medio del acuífero, mientras que en el área de descarga las disminuciones pueden ser mucho menores. El cono de depresión generado por el bombeo de los pozos probablemente tenga un perfil irregular que se ha distorsionado por la dirección del flujo de agua subterránea y por las anisotropías naturales que se producen en el material del acuífero, y dichas consideraciones se deben tener en cuenta al seleccionar los puntos de monitoreo y analizar la información. Los acuíferos confinados presentan disminuciones de presión en áreas mucho más amplias que los acuíferos freáticos y los puntos de muestreo deben ser más ampliamente espaciados. De ser posible desde el punto de vista económico, el monitoreo se debería focalizar en el impacto general en el acuífero y no únicamente en el impacto en las cercanías del pozo o del campo de pozos.

claramente diseñados para la recopilación de datos, control de calidad, almacenamiento de datos, análisis de parámetros e interpretación de datos. Debería haber una organización específica encargada del monitoreo en cada instancia. El flujo de información desde el programa de monitoreo hasta los administradores del agua subterránea debería seguir una rutina clara. El monitoreo participativo por parte de los usuarios de agua subterránea, particularmente de la extracción/uso y también de los niveles de agua, puede ayudar a reducir los costos de monitoreo y también a integrar a los usuarios en la gestión del recurso.

El monitoreo puede requerir de pozos de monitoreo específicamente construidos y diseñados. Dichos pozos pueden penetrar en una cantidad de diferentes estratos del acuífero que deben ser monitoreados y muestreados en forma independiente. Esto requerirá de una serie de tubos de acceso para muestrear los diferentes niveles en el pozo que estén separados por sellos impermeables ubicados adecuadamente. Se requieren algunos procedimientos específicos de muestreo para evitar varios impactos tales como desgasificación, entrada de aire, etc. Se debe realizar algunos análisis en el lugar; se debe recopilar y almacenar otras muestras en diferentes formas específicas según sean los parámetros que se analizarán (consultar la Tabla 9.4). La estructura de muestreo a campo se debe integrar con la capacidad y financiamiento disponible del laboratorio.

Tabla 9.3 Reglas básicas para el éxito de los programas de monitoreo del agua subterránea

DISEÑO DE REDES	• Se debe definir los objetivos y adaptar el programa según corresponda. • Se debe comprender los sistemas de flujo de agua subterránea. • Los sitios de muestreo y los parámetros de monitoreo se deben establecer de acuerdo con los objetivos.
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	• Se debe usar pozos de observación y de extracción bien construidos. • El equipo de campo y las instalaciones de los laboratorios deben ser acordes con los objetivos. • Se debe establecer un protocolo operativo completo y un sistema de manejo de la información. • El monitoreo del agua subterránea y superficial debe ser integral, según corresponda.
INTERPRETACIÓN DE DATOS	• Se debe monitorear regularmente la calidad de los datos mediante controles internos y externos. • Los responsables de la toma de decisiones deben contar con datos procesados de gestión. • El programa debe ser evaluado y revisado periódicamente.

¿Cómo monitorear?

El monitoreo debería realizarse de manera correcta y regulada, con procedimientos

¿Cuándo monitorear?

El monitoreo es la recopilación de datos dinámicos de los puntos de muestreo, y el

intervalo de tiempo entre las muestras debe ser tal que se eviten gastos innecesarios asegurando al mismo tiempo que se captan todas las variaciones significativas. Por lo general, el muestreo se realiza estacionalmente para captar el impacto de la recarga y descarga natural. Cuando se aplican nuevas presiones externas en el sistema del acuífero, se debe ajustar el programa de muestreo para probar y captar el impacto de dichas presiones.

Interpretación de datos

Los datos del monitoreo del agua subterránea deben analizarse junto con los datos disponibles del monitoreo del agua superficial para la gestión integrada de los recursos hídricos. La comunicación efectiva de los resultados referidos a la interpretación de datos a los administradores de los recursos hídricos es un componente esencial del monitoreo, y el monitoreo no tiene sentido si la información no se usa. Las herramientas complejas para la interpretación de datos, tales como los modelos numéricos, son útiles para preparar escenarios predictivos para la gestión del agua.

En resumen, se puede ver que el diseño y la implementación de una red de monitoreo puede ser una tarea altamente compleja, pero incluso algún tipo de monitoreo básico puede ser útil siempre y cuando se realice de manera bien estructurada e inteligente.

3. ¿Cómo se debe compartir la responsabilidad del monitoreo del agua subterránea?

La legislación sobre aguas subterráneas debe prever el monitoreo del uso, de los niveles y de la calidad del agua subterránea. Tanto los administradores de los recursos hídricos como los usuarios del agua deben asumir parte de la responsabilidad de estas tareas.

Una división típica de responsabilidades puede ser:

- Gobierno central/autoridad nacional del agua: red de referencia básica.
- Agencia de recursos hídricos regional/de cuenca/del acuífero: funciones de regulación y protección del recurso.
- Contratistas de pozos de agua/empresas de perforación: responsables de los registros de pozos y de las pruebas de bombeo.
- Grandes extractores de aguas subterráneas: registros de las extracciones medidas de pozos y de los niveles de agua.
- Pequeños extractores de aguas subterráneas: información sobre rendimiento y características de los pozos.
- Posibles contaminadores del agua subterránea: monitoreo de la calidad en el sitio.

El almacenamiento de datos de monitoreo del agua subterránea es un tema importante y el almacenamiento de datos en el nivel territorial más bajo será más efectivo, pero las copias deben guardarse para acceso del público. Es fundamental que los administradores y usuarios del agua tengan acceso a los datos y que los mismos se guarden en forma segura para referencia/uso futuro.

¿Cómo se usa la información de monitoreo? ¿Hay mecanismos efectivos para informar a las partes interesadas?

El monitoreo participativo del agua subterránea por parte de los usuarios puede ayudar a reducir la carga que recae en las autoridades y también puede ayudar a los usuarios a comprender mejor el sistema de agua subterránea, pero puede ser difícil de implementar, particularmente cuando el sistema de aguas subterráneas no está bajo presión. Será necesario desarrollar capacidades y mucha capacitación para establecer un régimen de monitoreo efectivo y participativo del agua subterránea.

4. Diseño de la red de monitoreo

Medición del uso del agua subterránea y respuesta de los acuíferos.

El efecto que tiene el bombeo del acuífero se puede determinar monitoreando la extracción y los cambios en los niveles de agua, lo que puede brindar información clave para la gestión de las aguas subterráneas. Los campos de pozos por lo general están diseñados sobre la base de una **respuesta prevista aceptable del acuífero** para un cierto nivel de extracción, que se basa en la modelación numérica que simula diferentes escenarios de extracción. Los permisos de construcción y extracción de los campos de pozos se emiten sobre la base de dichas predicciones.

La dirección del caudal de agua subterránea es controlada por el gradiente que se puede determinar a partir de los niveles de agua observados en el acuífero. Si se conoce el área donde el nivel de agua cambia y las porosidades del acuífero, entonces se puede calcular la recarga o descarga volumétrica.

El monitoreo del acuífero juega un papel importante en este contexto porque:

- se utilizan datos históricos para calibrar modelos numéricos de los acuíferos y para permitir simulaciones confiables de futuros escenarios de extracción;
- la medición (y el archivo) de la situación de referencia para nuevos pozos de extracción es importante ya que suministra información básica para la evaluación de cambios futuros;
- las observaciones de los niveles de agua subterránea y de las tasas de bombeo durante la operación de los campos de pozos proporcionan información para verificar la respuesta prevista del acuífero y, si es necesario, actuar oportunamente para reducir la extracción
- la información recopilada también puede jugar un rol clave para que los usuarios del agua tomen mayor conciencia y así facilitar la introducción de las medidas requeridas de gestión de la demanda de agua subterránea. Esto puede entonces permitir el monitoreo participativo.

¿Cuáles son los temas clave en el monitoreo de las fluctuaciones y tendencias de los niveles de agua subterránea?

Las mediciones del nivel de agua subterránea en pozos de observación o de extracción se pueden realizar manual o automáticamente y siempre deben estar sujetas a controles de calidad. Los cambios en el nivel del agua subterránea detectados con el monitoreo se pueden deber a diferentes causas, las que deberán evaluarse cuidadosamente para determinar las acciones de gestión pertinentes.

Las redes de monitoreo de agua subterránea deben estar diseñadas por especialistas con un enfoque especial en las áreas de recarga o descarga. La determinación del alcance de las zonas de recarga puede ser compleja ya que generalmente son áreas extensas y difusas con diferentes litologías, suelos y usos de la tierra.

Cómo monitorear la extracción

El monitoreo directo de la extracción de agua subterránea mediante medidores de agua es preciso pero costoso porque hay que fijar los medidores a todas las salidas de las bombas. Además, requiere de la cooperación total de los usuarios del agua, algo que no siempre es fácil de lograr.
El monitoreo indirecto de la extracción de agua subterránea se puede realizar mediante:

- La recopilación de datos indicativos: por ejemplo, el uso del agua subterránea para riego puede estimarse indirectamente multiplicando las horas de operación de las bombas (del consumo de energía) por la tasa promedio de bombeo.
- El uso de sensores remotos: los sensores satelitales o aerotransportados pueden proporcionar mediciones objetivas a escalas potencialmente grandes, con una cobertura casi continua a bajo costo por kilómetro cuadrado. Estas técnicas se están expandiendo rápidamente con diferentes sensores y enfoques. Dicha información, así como la extensión del área regada o la evaporación real diaria y acumulativa, pueden ser evaluadas.
- Se puede obtener estimaciones del cambio en la extracción regional de agua subterránea a través de datos sobre cambios demográficos y controles al azar del uso per cápita del agua.

oportuna de las medidas de control necesarias;

Tabla 9.4 Resumen de procedimientos de muestreo y precauciones para grupos específicos de parámetros de calidad del agua subterránea

GRUPO DE PARÁMETROS REFERENCIADOS	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	MATERIALES PREFERIDOS	TIEMPO/TEMP DE ALMACENA MIENTO	DIFICULTAD/COS TO OPERATIVO
Iones principales Cl, SO_4, F, Na, K	● filtro de 0,45 µm únicamente ● sin acidificación	Cualquiera	7 días/4 ˚C	Mínimo
Metales traza Fe, Mn, As, Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, etc.	● filtro sellado de 0,45 µm ● acidificar (pH <2) ● evitar la aeración a través de salpicadura/espacio del cabezal	Plástico	150 días	Moderado
Especies N NO_3, NH_4 (NO_2)	● filtro sellado de 0,45 µm	Cualquiera	1 día/4 ˚C	Moderado/bajo
Microbiológico TC, FC, FS	● condiciones estériles ● muestra no filtrada ● análisis preferido en el sitio	Vidrio oscuro	6 horas/4 ˚C	Moderado/bajo
Equilibrio del carbonato pH, HCO_3, Ca, Mg	● muestra no filtrada bien sellada ● análisis en el sitio (pH, HCO_3) (Ca/Mg en laboratorio de base en muestra acidificada)	Cualquiera	1 hora (150 días)	Moderado
Estado del oxígeno pE(EH), DO, T	● célula de medición en el sitio ● evitar aeración ● no filtrada	Cualquiera	0,1 hora	Alto/moderado
Orgánicos TOC, VOC, HC, ClHC, etc.	● muestra no filtrada ● evitar volatilización ● (absorción directa en cartuchos preferentemente)	Vidrio oscuro o teflón	1-7 días (indefinido para cartuchos)	Alto

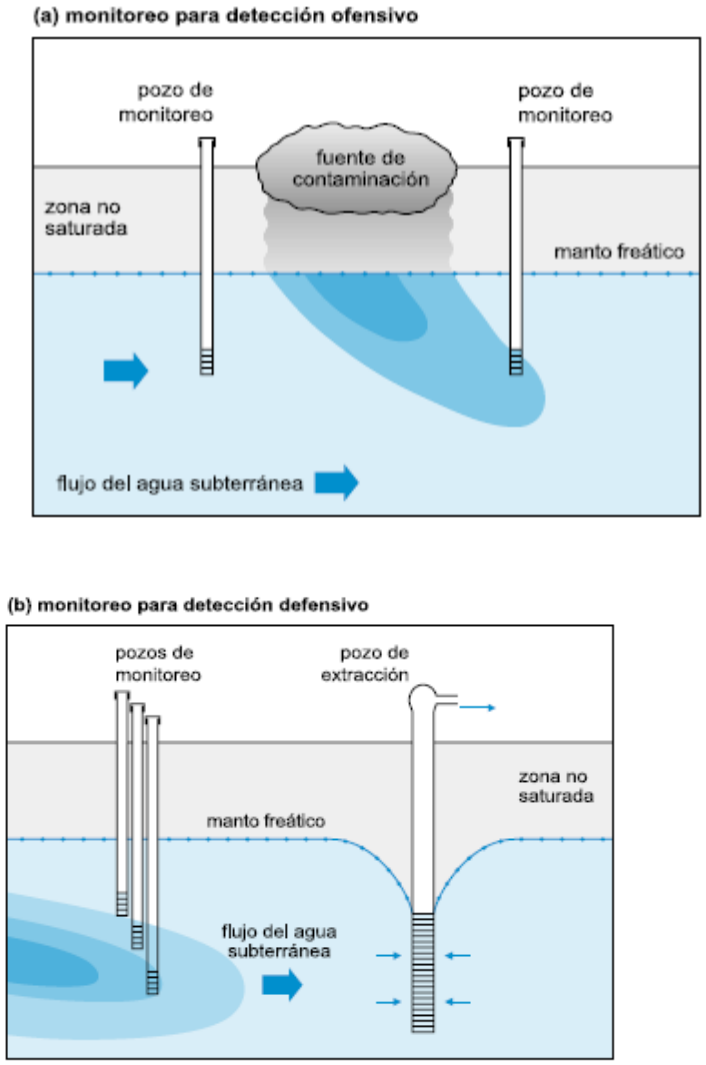
Detección de cambios en la calidad del agua subterránea

¿Cuál es el propósito de monitorear la calidad del agua?

El propósito de monitorear la calidad del agua es:

- facilitar el alerta temprana de la aparición de contaminación del agua subterránea provocada por una cierta actividad y permitir la introducción
- alertar de antemano la llegada de agua contaminada a una fuente importante de abastecimiento de agua subterránea y así poder prever mecanismos de tratamiento y mitigación;
- identificar la contaminación que llega a un acuífero desde una importante fuente potencial de contaminación y así tomar medidas de prevención;
- brindar evidencias para determinar la responsabilidad legal por incidentes relacionados con la contaminación del agua subterránea.

Figura 9.4 Esquema del diseño de una red de monitoreo de la calidad del agua subterránea para objetivos específicos de gestión



¿Quién realiza el monitoreo del agua subterránea en su país? ¿Se utiliza la información recopilada para la gestión de acuíferos?

Cómo monitorear la calidad del agua subterránea

El monitoreo de la calidad del agua subterránea se centra generalmente en el abastecimiento público de agua de pozos y de manantiales por medio de cañerías de distribución (Fig. 9.4). En principio, lo ideal es hacer un análisis "completo" del agua, seguido de análisis más limitados de parámetros de indicadores cuidadosamente seleccionados con controles periódicos de otros parámetros importantes que son más complejos o costosos. Sin embargo, este tipo de monitoreo normalmente no se corresponde con la condición del agua subterránea in situ, lo cual es esencial para los programas de monitoreo de los acuíferos que tienen que definir la distribución sub-superficial del agua subterránea de calidad inferior, su variación con el tiempo y su respuesta a las medidas de mitigación de la gestión.

El proceso de bombeo de pozos y de manipulación de muestras puede provocar cambios en las muestras principales, tales como ingreso de aire, desgasificación y pérdidas volátiles que necesitan procedimientos de muestreo apropiados. Además, tal muestreo brinda una muestra mezclada con agua subterránea obtenida de todos los estratos del acuífero atravesados por el pozo. Se puede usar el muestreo específico de profundidad para muestrear estratos/profundidades específicos para determinar la diferente calidad del agua (y la

carga de agua) en unidades diferentes en sistemas de acuíferos por estratos.

En muchos casos, el requisito fundamental es obtener un alerta temprano de posibles problemas de calidad que pueden amenazar el agua subterránea y el sistema del acuífero. Para ello es necesario diseñar redes de monitoreo para obtener muestras de agua subterránea que representen la calidad de la recarga más reciente. Con frecuencia, esto difiere considerablemente de la calidad promedio del agua subterránea en el acuífero. Asimismo, los cambios verticales en la calidad del agua subterránea deben evaluarse por muestreo específico de profundidad.

El rápido crecimiento de la eliminación en tierra de desechos urbanos e industriales y la agricultura intensiva requieren de un mayor monitoreo centrado en la gestión de la calidad del agua subterránea.

5. Resumen

Hay varias razones para llevar a cabo el monitoreo del agua subterránea. Cualquiera sea la razón, el monitoreo del agua subterránea siempre es costoso y requiere de recursos humanos capacitados y de financiamiento durante un largo período. El monitoreo puede servir para garantizar el acceso equitativo al agua subterránea o para reducir abusos de extracción o permisos de descarga de efluentes, etc. En la medida de lo posible, será conveniente involucrar a las partes interesadas y a los usuarios del agua subterránea en el proceso de monitoreo.

El monitoreo es un componente fundamental en la gestión de los acuíferos y brinda la información necesaria para que las decisiones de gestión protejan la extracción excesiva y la contaminación del agua subterránea. Los impactos negativos permanentes asociados con el bombeo excesivo y la contaminación se pueden evitar mediante un sistema de monitoreo bien diseñado y administrado que suministre información oportuna sobre las respuestas de los acuíferos al bombeo o a la carga de contaminantes.

Referencias y lecturas en la web

European Environment Agency, 1997. Groundwater Monitoring in Europe. www.eea.europa.eu/publications/92-9167-032-4

GW•MATE, 2002-2006, Nota informativa 9. http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,contentMDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:4602123,00.html

University of California, Groundwater level monitoring: what is it? How is it done? Why do it? http://ucce.ucdavis.edu/files/filelibrary/2280/12024.pdf

Water watch Australia, National Technical Manual, Module 6 - groundwater monitoring. www.waterwatch.org.au/publications/module6/index.html

EJERCICIO

Dividir en grupos de 4 ó 5.

Diseñar un sistema de monitoreo de la calidad del agua subterránea o de la extracción de agua subterránea/niveles de agua. Explicar los pasos clave en el diseño en términos de:

1) instalación/selección de los pozos de monitoreo en función de las características y del uso del acuífero;
2) obtención de datos (quién, frecuencia, etc.);
3) almacenamiento e interpretación de datos;
4) implementación de la gestión del acuífero como resultado del programa de monitoreo.

La Tabla 9.3 es un buen punto de partida para este ejercicio.

Tiempo: 1 hora

Presentación de Informes: 15 minutos por grupo

Módulo 10: Aguas subterráneas y el cambio climático

Objetivos de aprendizaje[1]:

- Familiarizarse con los conceptos básicos de los impactos del cambio climático en el agua subterránea.
- Entender las consecuencias principales del cambio climático en el sistema y en los sectores que dependen del agua subterránea.
- Comprender los conceptos básicos de la gestión adaptativa del agua subterránea.

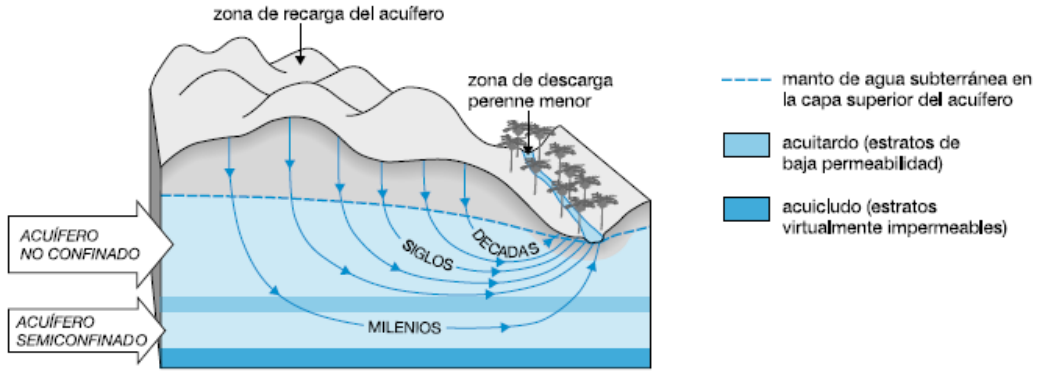
1. Conceptos fundamentales

1.1 Agua subterránea y el ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico representa el movimiento continuo de agua entre la atmósfera, la superficie de la tierra (glaciares, mantos de nieve, arroyos, humedales y océanos), y suelos y rocas. El término "agua subterránea" se refiere al agua que se encuentra en los suelos y en las formaciones geológicas que están completamente saturadas. El flujo de agua subterránea (ver Fig. 10.1) depende de la recarga (a través del perfil del suelo o por medio de cauces y humedales) y de la descarga (a través de la evapotranspiración, extracción, infiltración, manantiales, etc.). La diferencia entre la recarga y la descarga determina el volumen de almacenamiento de agua subterránea.

Cualquier variación climática puede afectar la recarga, descarga y calidad del agua subterránea, ya sea directa o indirectamente. Un ejemplo de un impacto directo sería la recarga reducida debido a una disminución en las precipitaciones. La intrusión de agua de mar en los acuíferos costeros debido a temperaturas elevadas y al aumento del nivel del mar representa una influencia indirecta en la calidad del agua subterránea. La cantidad y calidad de agua subterránea también puede verse afectada por cambios en el uso del agua y de la tierra.

Figura 10.1 Recarga, flujo y descarga de agua subterránea



1.2 Cambio climático y variabilidad hidrológica

El cambio climático es "un estado alterado del clima que se puede identificar mediante un cambio en la media y/o en la variabilidad de sus propiedades y que persiste por un período extenso, generalmente décadas o más". Puede deberse a "procesos naturales internos o a fuerzas externas, o a persistentes cambios

[1] El contenido de este módulo está basado en el informe preparado por el *World Bank, Economic and Sector Analysis on Climate Change and Water* (World Bank, 2009). El estudio de caso sobre recarga controlada del acuífero se basó en Van Steenbergen (2009). Ambas publicaciones están disponibles como documento de referencia de este módulo. En las referencias se brinda importante información complementaria.

antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra" (IPCC, 2007).

En los últimos 150 años, la temperatura media en el mundo ha aumentado con el calentamiento global y se ha acelerado en los últimos 25 a 50 años. Este proceso continuará en el futuro (IPCC, 2007).

caso de El Niño Oscilación Sur. La presencia y el grado de influencia de estos fenómenos naturales varían entre países e incluso entre cuencas hidrográficas.

Las variaciones en el clima producirán cambios hidrológicos. En la Tabla 10.1 se resumen las variaciones en el clima y en la hidrología que el calentamiento global puede producir. Los impactos potenciales de estos

Tabla 10.1 Impacto proyectado del calentamiento global para indicadores primarios hidrológicos y climáticos

Variables	Cambio futuro proyectado*
Temperatura	Se estima que en el siglo XXI las temperaturas aumentarán con patrones geográficos similares a los observados en las últimas décadas. El calentamiento será mayor en la tierra y en las más altas latitudes del norte y menor en los océanos del sur y en partes del océano Atlántico Norte. Es muy probable que las temperaturas máximas y las olas de calor sean más frecuentes.
Precipitaciones	A escala mundial se estima que habrá un aumento en las precipitaciones, pero que las mismas variarán geográficamente; es probable que las precipitaciones promedio anuales en algunas áreas aumenten y en otras disminuyan. Es dable esperar que las precipitaciones aumenten en las latitudes altas. A bajas latitudes es dable esperar que las precipitaciones aumenten y disminuyan. Se estima que en muchas (no todas) áreas con precipitaciones elevadas las precipitaciones aumenten, mientras que en muchas áreas con precipitaciones bajas y elevada evaporación las precipitaciones disminuirán. Las áreas afectadas por sequías probablemente aumenten y es probable que también aumenten las precipitaciones extremas en frecuencia e intensidad. Es probable que cambie la relación precipitación/nieve debido al aumento en las temperaturas.
Aumento del nivel del mar	Se estima que el nivel medio del mar en el mundo se eleve debido al calentamiento de los océanos y al derretimiento de los glaciares. Las proyecciones más optimistas del aumento medio del nivel del mar en el mundo a fines del siglo XXI varían entre 0,18 y 0,38 m, pero un escenario extremo estima un aumento de hasta 0,59 m. En las regiones costeras, los niveles del mar probablemente también se vean afectados por olas más grandes y tempestades.
Evapotranspiración	La demanda evaporativa, o el potencial de evaporación está influenciada por la humedad atmosférica, la radiación neta, la velocidad del viento y la temperatura. Generalmente se espera que aumente debido al aumento de las temperaturas. La transpiración puede aumentar o disminuir.
Escurrimientos	Es probable que el escurrimiento aumente en las latitudes más altas y en algunos trópicos húmedos, incluidas las áreas populosas del este y del sudeste asiático, y que disminuya en casi todas las latitudes medias y en los trópicos secos que actualmente están con estrés hídrico. Es probable que los volúmenes de agua almacenados en los glaciares y en los mantos de nieve disminuyan, lo que a su vez disminuirá los flujos de verano y otoño en las áreas afectadas. También se podrán observar cambios en la estacionalidad del escurrimiento debido al rápido derretimiento de los glaciares y a la menor caída de nieve en las áreas alpinas.
Humedad del suelo	Se estima el contenido de humedad promedio anual del suelo disminuirá en muchas partes de los subtrópicos y a través de la región mediterránea y en latitudes altas donde el manto de nieve disminuye. Es probable que la humedad del suelo aumente en África oriental, Asia central, América del Sur, y otras regiones con sustancial aumento en las precipitaciones.

*Relativo a datos básicos de 1990. Fuente: IPCC (2007), Banco Mundial (2009)

El clima también varía en respuesta a fenómenos naturales a escalas que abarcan estaciones, años y décadas, tal como es el

cambios en el agua subterránea se analizan en las siguientes secciones.

2. Impactos del cambio climático en el agua subterránea

2.1 Recarga

La recarga de agua subterránea puede ocurrir localmente a partir de los cuerpos de agua superficial o en forma difusa a partir de las precipitaciones a través de la zona no saturada del suelo. Las precipitaciones son los principales impulsores climáticos de la recarga de agua subterránea. La temperatura y las concentraciones de CO_2 también son importantes, ya que afectan a la evapotranspiración y por ende a la porción de precipitaciones que puede drenar hacia los acuíferos a través del perfil del suelo. Otros factores que afectan la recarga de agua subterránea incluyen la cubierta terrestre, suelos, geología, relieve topográfico y tipo de acuífero.

Las únicas estimaciones a escala mundial de impactos del cambio climático en la recarga del agua subterránea son las desarrolladas por Döll y Floerke (2005). De acuerdo con sus resultados, la recarga, cuando se la promedia globalmente para el año 2050, aumentará un 2%. Este porcentaje es menor que los aumentos proyectados del 4% y 9% en las precipitaciones anuales y en el escurrimiento. Las variaciones geográficas incluyen:

- disminuciones significativas en la recarga de agua subterránea (>70%) en el noreste de Brasil, en la parte occidental de África meridional y en las áreas a lo largo de la cuenca sur del mar Mediterráneo;
- Aumento de la recarga de agua subterránea (más del 30%) a través de grandes áreas, que incluyen el Sahel, China del Norte, EE. UU. occidental y Siberia;
- Significativa disminución potencial de la recarga de agua subterránea en Australia, EE. UU. y España, aunque los resultados varían mucho entre los modelos climáticos en dichas áreas.

Estas estimaciones mundiales se refieren a regiones donde el agua subterránea es potencialmente vulnerable al cambio climático. Sin embargo, no son apropiadas a nivel de país o de cuenca hidrográfica. Las precipitaciones y los sistemas de aguas subterráneas pueden variar significativamente entre cuencas hidrográficas y se necesitará contar con datos locales e información para estimar los cambios a nivel de cuenca hidrográfica o de país.

*La recarga no solo está influenciada por la magnitud de las precipitacio*nes, sino también por su intensidad, estacionalidad, frecuencia y tipo (Fig. 10.2). Otros factores son el ambiente geológico del área y los cambios en las propiedades del suelo o en el tipo de vegetación y en el uso del agua.

2.2 Descarga

Los impactos del cambio climático en la descarga de agua subterránea no se entienden tan bien. En parte esto refleja las dificultades para medir la descarga, y por consiguiente la falta de información para

Figura 10.2 Resumen del impacto climático en la recarga bajo diferentes condiciones climáticas

Regiones de altitud alta	Regiones templadas	Regiones áridas y semiáridas
La recarga puede ocurrir antes debido a temperaturas invernales más cálidas, trasladando el derretimiento que se produce en la primavera al invierno. Es probable que haya un aumento de la recarga en áreas donde el permafrost se derrite por las temperaturas más altas.	Los cambios en la recarga anual variarán de acuerdo con el clima y otras condiciones locales. En algunos casos se puede observar un pequeño cambio en la recarga anual; sin embargo, la diferencia entre la recarga de verano e invierno puede aumentar.	En muchas zonas áridas y semiáridas con estrés hídrico, es probable que la recarga de agua subterránea disminuya. Sin embargo, es dable esperar un aumento de la recarga en zonas donde las abundantes precipitaciones e inundaciones son las principales fuentes de recarga. Es probable que la recarga de agua subterránea disminuya en muchas zonas áridas y semiáridas con estrés hídrico. Sin embargo, es dable esperar un aumento en la recarga en zonas donde las abundantes precipitaciones e inundaciones son las principales fuentes de recarga. Por ejemplo: acuíferos aluviales donde la recarga se produce a través de los cauces o de los acuíferos de lechos de rocas donde la recarga se produce por medio de la infiltración directa de precipitaciones a través de fracturas o canales de disolución.

cuantificar los procesos de descarga. Históricamente, las evaluaciones del agua subterránea también se han centrado en comprender cuánta agua ingresa en el sistema de agua subterránea y si es apta para uso humano. Se le ha prestado menor atención a los ecosistemas que utilizan agua subterránea, tales como vegetación terrestre y flujo de agua subterránea hacia manantiales, arroyos, humedales y océanos.

Para la evapotranspiración, los impactos directos del cambio climático incluyen: (1) cambios en el uso de agua subterránea por parte de la vegetación debido al aumento de temperatura y a las concentraciones de CO_2, y (2) cambios en la disponibilidad de agua a ser evaporada o transpirada, principalmente debido a cambios en el régimen de precipitaciones. Es probable que la mayor duración y frecuencia de las sequías (debido al aumento de temperatura y a una mayor variación de las precipitaciones) incremente los déficits de humedad del suelo. Cuando el agua del suelo se agota, la vegetación dependerá cada vez más del agua subterránea (si el agua subterránea se encuentra cerca de la zona radicular). Durante los períodos de sequía, esto puede producir el aumento de la evapotranspiración del agua subterránea. Los impactos indirectos asociados con el cambio en el uso de la tierra también pueden afectar la evapotranspiración del agua subterránea.

El flujo de agua subterránea hacia *los cuerpos de agua superficial* será impulsado por los niveles de carga relativa entre el agua subterránea y el agua superficial. Por consiguiente, los efectos del cambio climático son indirectos a través de alteraciones en la recarga y en otros mecanismos de descarga (por ejemplo, la evapotranspiración). Si el agua subterránea cae por debajo de los niveles de agua superficial, no se producirá la descarga de agua subterránea (y viceversa). En regiones semiáridas y áridas, es probable que la dependencia del agua subterránea para mantener el flujo base en los arroyos permanentes aumente durante períodos de sequía.

El bombeo de agua subterránea también es un mecanismo para la descarga de agua subterránea. Es probable que los aumentos estimados en la variabilidad de las precipitaciones resulten en sequías e inundaciones más intensas afectando la disponibilidad de agua superficial. Por lo tanto, es probable que la demanda de agua subterránea para consumo humano aumente para compensar esta reducción en la disponibilidad de agua superficial y, donde esté disponible, se convertirá en una faceta fundamental para que las comunidades se adapten al cambio climático.

2.3 Almacenamiento de agua subterránea

El almacenamiento de agua subterránea es la diferencia entre la recarga y la descarga durante el tiempo en que ocurren estos procesos, que varían entre días y miles de años. El almacenamiento está influenciado por las propiedades específicas, tamaño y tipo de los acuíferos. Los acuíferos más profundos reaccionan con retraso al cambio climático a gran escala pero no a la variabilidad climática a corto plazo. Los sistemas de agua subterránea poco profundos (especialmente sedimentos no consolidados o acuíferos de lechos de piedras fracturadas) son más sensibles a la variabilidad climática a menor escala. Los impactos del cambio climático en el almacenamiento también dependerán de si el agua subterránea es renovable o no (recarga contemporánea) o si abarca un recurso fósil. Para el almacenamiento de aguas subterráneas poco profundas, la vulnerabilidad al cambio climático se puede resolver parcialmente mediante recarga artificial. Esto se analiza más abajo en mayor detalle.

2.4 Calidad del agua

En muchas áreas, los acuíferos proporcionan una fuente importante de abastecimiento de agua dulce. Es fundamental mantener la calidad del agua en estos acuíferos para las comunidades y actividades agrícolas que dependen de ella. Las propiedades termales y químicas del agua subterránea pueden verse afectadas por el cambio climático. En acuíferos de poca profundidad, la temperatura del agua subterránea puede aumentar debido al aumento de la temperatura del aire. En regiones áridas y semiáridas, el aumento de la evapotranspiración puede producir la salinización del agua subterránea. En los acuíferos costeros, es probable que el aumento del nivel del mar y las tempestades produzcan la intrusión de agua de mar y la salinización del agua subterránea. Los cambios en la recarga y descarga (ver más arriba) probablemente modifiquen la

vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación difusa.

En las áreas donde es dable esperar un aumento en la intensidad de las precipitaciones, los contaminantes (pesticidas, materia orgánica, metales pesados, etc.) presentes en el suelo serán arrastrados hacia los cuerpos de agua. Es probable que la calidad del agua subterránea se deteriore cuando la recarga de los acuíferos se produce a través de estos cuerpos de aguas superficiales. Cuando se espera una disminución de la recarga, la calidad del agua probablemente también disminuya debido a una menor dilución y en algunos casos también puede provocar la intrusión de agua de menor calidad desde acuíferos vecinos.

3. Impactos de factores no climáticos

Si bien es muy probable que el cambio climático tenga impactos adversos en la cantidad y calidad de agua subterránea, en muchas áreas esto estará eclipsado por impactos no climáticos, incluido el crecimiento de la población mundial, la demanda de alimentos (originada por la agricultura bajo riego), los cambios en el uso de la tierra y los factores socioeconómicos que influyen en la capacidad de gestión adecuada del agua subterránea.

Históricamente, en los países desarrollados y en desarrollo la gestión de la demanda de agua subterránea ha sido deficiente. Las pocas inversiones en investigaciones y en gestión de las aguas subterráneas durante el siglo XX, una época de intenso uso de agua subterránea para la producción de cultivos, han provocado una gran presión en el agua subterránea. Otro de los factores que también ha influido en el creciente uso de agua subterránea es el crecimiento de la población, particularmente en las zonas áridas y semiáridas donde el agua es escasa. Es posible que haya una mayor presión en el agua subterránea en vista del futuro crecimiento de la población mundial.

El cambio en el uso de la tierra también afecta al agua subterránea. El grado y la magnitud del impacto dependerán de las condiciones locales. En una pequeña cuenca saheliana en Nigeria, Seguis y otros (2004) descubrieron que la transición desde un período húmedo bajo una cubierta terrestre “natural” (1950) hasta un período seco bajo una cubierta terrestre cultivada (1992) produjo un aumento en el escurrimiento del 30 al 70%. La recarga en esta cuenca se produjo preferentemente a través de estanques y, por consiguiente, el creciente escurrimiento causó un aumento significativo y continuo del nivel freático en el mismo período.

En una cuenca del sudoeste de Uganda, la eliminación de la vegetación redujo el rendimiento de agua subterránea en un 90% (Mutiibwa, 2008). Dicha eliminación se debió al crecimiento de la población y a la necesidad de cultivar y colonizar las tierras. La pérdida de la cubierta vegetal produjo una menor intercepción e infiltración de las precipitaciones y un mayor escurrimiento. El mecanismo de recarga predominante es la infiltración directa de las precipitaciones. Los consiguientes cambios en la relación entre precipitaciones y escurrimientos redujeron la recarga de agua subterránea.

Las condiciones en que se encuentra actualmente el agua subterránea se deben a una serie de factores técnicos que también influirán en la futura gestión del agua. Algunos de los desafíos que debemos enfrentar son: falta de información adecuada para informar sobre la asignación de agua subterránea; falta de personal calificado; contaminación creciente de los recursos hídricos debido a la agricultura, industrias y minería; extracción descontrolada de agua subterránea; falta de planificación del uso de la tierra; capacidad financiera inadecuada y falta de educación y toma de conciencia por las partes interesadas. Mutiibwa (2008) concluyó que la correcta gestión de las aguas subterráneas requiere no solo de capacidad técnica y financiera, sino también de “voluntad política”.

4. Consecuencias para los sistemas y sectores que dependen del agua subterránea

Los sistemas que dependen del agua subterránea son aquellas comunidades, industrias y ambientes que utilizan el agua subterránea como fuente de abastecimiento de agua. La dependencia del agua subterránea en los países en desarrollo es alta debido a la escasez de agua o a la falta de agua potable segura de fuentes de agua superficial. El

cambio climático y otras presiones pueden comprometer la disponibilidad y calidad del agua subterránea con serias consecuencias para la salud humana y ambiental, para el sustento de las comunidades, para la seguridad alimentaria y para la estabilidad social y económica.

4.1 Comunidades rurales y urbanas

Los pozos de poca profundidad a menudo ofrecen una fuente de agua potable para las poblaciones rurales en los países en desarrollo. La creciente demanda y el potencial aumento de las sequías pueden producir el agotamiento de los pozos de poca profundidad. Con pocas alternativas para el abastecimiento de agua potable segura (el agua superficial puede ser escasa o estar contaminada y la construcción de pozos más profundos puede no ser económicamente factible), la pérdida de agua subterránea forzaría a las personas a utilizar agua no segura o a caminar largas distancias para conseguirla. Todo ello ejerce impactos en la salud humana y en la capacidad (tiempo) para generar ingresos y recibir educación.

El sustento de las poblaciones rurales depende en gran medida de la tierra, del agua y del ambiente con pocas alternativas en comparación con las urbanas. La disponibilidad reducida de agua puede causar serias penurias. La extinción de la pastura y la escasez de agua potable pueden destruir manadas de ganado que son fuentes de ingresos, alimentos y seguridad para las familias. Las empresas de riego pequeñas, que generalmente dependen del agua subterránea poco profunda, también pueden fracasar.

Cuando se pronostican aumentos en las precipitaciones, las inundaciones pueden destruir las plantas de tratamiento de efluentes, esparcir las aguas residuales y contaminar el agua subterránea. Esto puede generar un riesgo mayor de enfermedades diarreicas. El riesgo de dicha contaminación probablemente sea mayor en las áreas urbanas debido al incremento en la densidad demográfica y a la concentración de contaminantes. En las regiones costeras, la intrusión de agua de mar puede restringir la capacidad del agua subterránea para abastecer a grandes poblaciones que se están expandiendo rápidamente.

4.2 Agricultura

A nivel mundial, la agricultura bajo riego es el sector que más usa el agua. En las áreas donde la disponibilidad de agua subterránea es reducida, el riego puede ser inviable, particularmente si la demanda de agua potable en el área (que es la principal prioridad) no puede ser satisfecha. Alternativamente, quizás sea necesario regar sobre una base de oportunidad durante períodos de disponibilidad de agua o utilizar recursos hídricos alternativos (tal como aguas residuales recicladas) o tecnologías y métodos para mejorar la eficiencia en el uso del agua. En áreas donde la disponibilidad de agua subterránea aumenta, la agricultura se puede ver beneficiada. Sin embargo, los crecientes niveles freáticos poco profundos también pueden causar problemas de salinización del suelo y anegamiento.

4.2 Ecosistemas

Es probable que el impacto del cambio climático acentúe la competencia entre los usos humanos y ecológicos del agua, particularmente durante períodos prolongados de sequías. Las consecuencias para el ambiente incluyen reducción o eliminación del flujo base y de refugios para animales y plantas acuáticas, extinción de vegetación que depende del agua subterránea y disminución de la fuente de abastecimiento de agua para la fauna terrestre. En las áreas donde hay salinización, como es el caso de las regiones costeras, se pueden perder especies que son sensibles a la sal. Otras fuentes de contaminación del agua subterránea también pueden afectar a los ecosistemas en forma negativa.

4.4 Incertidumbres y brechas de conocimiento

Es difícil cuantificar los impactos del cambio climático en el agua subterránea y ello se debe a incertidumbres en las proyecciones climáticas futuras (particularmente las precipitaciones) y a la influencia relativa de otros factores tales como, por ejemplo, la respuesta de la vegetación al cambio en el dióxido de carbono. Los estudios sobre los impactos del cambio climático en la recarga del agua subterránea se han enfocado mayormente en cuantificar los impactos directos de los cambios en los patrones de precipitación y temperatura, suponiendo que otros parámetros permanecen constantes. Pocos estudios han tratado los efectos climáticos indirectos tales como cambios en el uso de la tierra, en la cubierta vegetal y en las propiedades del suelo.

A menudo también se ha ignorado la variabilidad climática natural y se ha puesto énfasis únicamente en los impactos del cambio climático antropogénico (Figura 10.3).

Actualmente no se comprende bien el impacto del cambio climático. Sin embargo, hay una cantidad de organizaciones que están comenzando a mejorar la comprensión de los impactos del cambio climático en el agua subterránea. Entre esas organizaciones se incluyen la iniciativa de la UNESCO *Groundwater Resources Assessment under the Pressures of Humanity and Climate Changes* (GRAPHIC) con quien el Centro Internacional de Evaluación del Agua Subterránea (CIERIF) y la Comisión sobre el Cambio Climático de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH) son socios. A medida que avanza el conocimiento de los impactos del cambio climático en el agua subterránea, no parece haber ningún enfoque coordinado para desarrollar respuestas (adaptación).

Figura 10.3 Los registros desde comienzos de la década de 1900 hasta mediados de 1980 muestran la variabilidad natural de las precipitaciones y además muestran que las precipitaciones anuales promedio de África han disminuido desde 1968 y han fluctuado en un nivel promedio notablemente inferior (figura; fuente: UNEP 1985). También hay evidencia de que los desastres naturales han aumentado en frecuencia y gravedad en los últimos 30 años, particularmente en el Sahel.

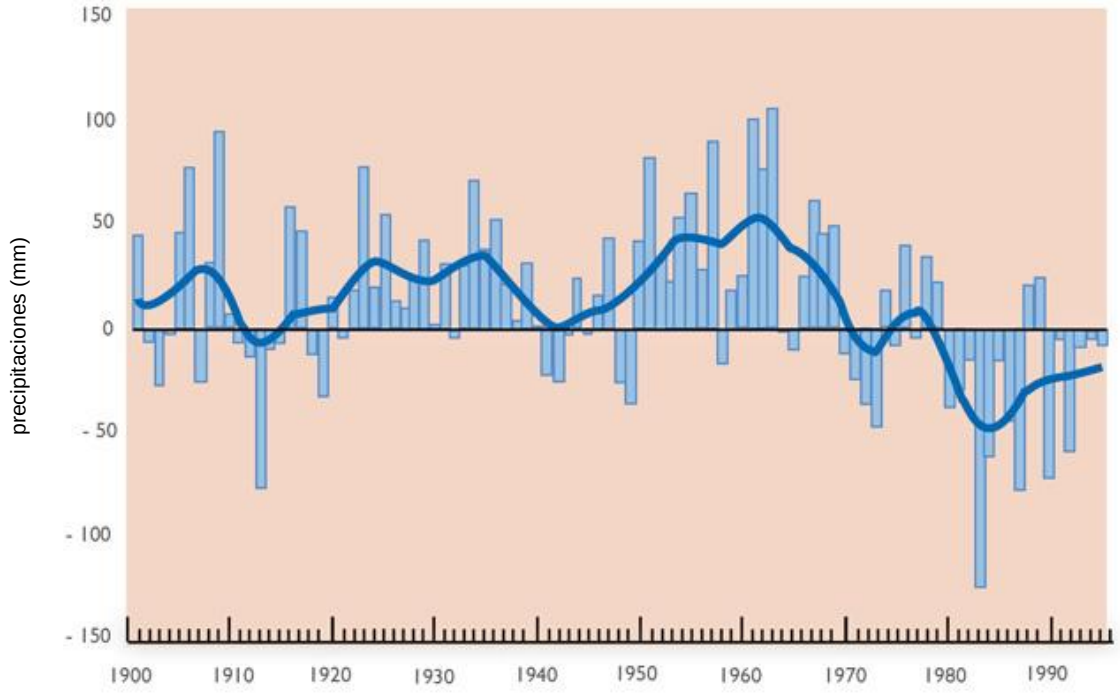
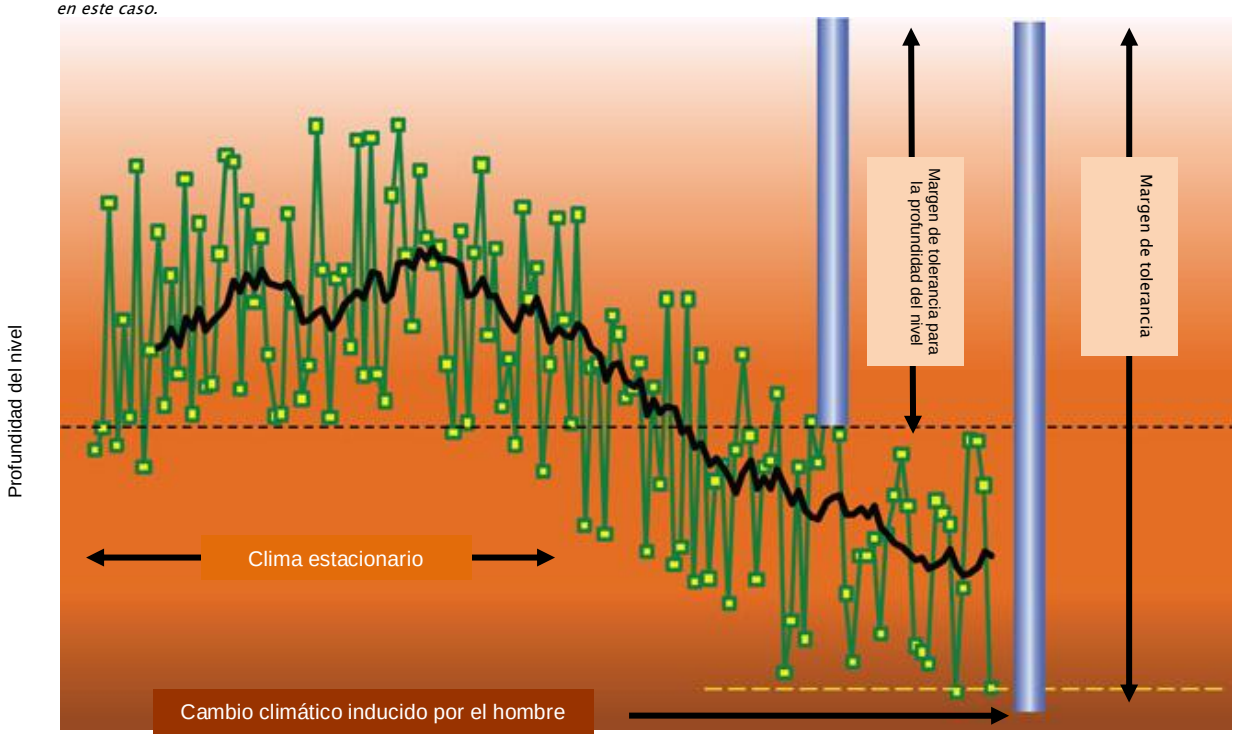


Figura 10.4 Margen de tolerancia y adaptación al cambio climático inducido por el hombre (re graficado de Willows y Connell, 2003).
El gráfico muestra la variación de un parámetro hidrológico hipotético (por ejemplo, el nivel de agua en acuíferos de poca profundidad) en condiciones estacionarias y cambio climático inducido por el hombre (la línea negra continua muestra el estado promedio). En secuencias de años de sequías, los niveles de agua pueden caer por debajo de la profundidad de un pozo o perforación (que definiría el margen de tolerancia del sistema) y se experimentaría alguna forma de perjuicio. En este ejemplo, se prevé que el cambio climático inducido por el hombre inicialmente incrementará la frecuencia de años en los que los niveles de agua caerán por debajo del nivel del que se puede extraer el agua. A medida que avanza el cambio, este estado se vuelve permanente. Con la adaptación (por ejemplo, ampliar el pozo o introducir un taladro más profundo), el margen de tolerancia del sistema se amplía y así se evita el daño permanente. Tenga en cuenta que pocas veces las adaptaciones deben responder a un estímulo único, como en este caso.



5. Adaptación al cambio climático

5.1 ¿Qué es la adaptación?

Los sistemas que dependen del agua subterránea tienen la capacidad de afrontar cierto nivel de variabilidad hidrológica (en términos de calidad y cantidad de agua) sin sufrir daños (Figura 10.4). Este "margen de tolerancia" varía con la sensibilidad del sistema que depende del agua subterránea a los cambios de diversos atributos del agua subterránea (por ejemplo, calidad del agua, profundidad, presión, flujo de descarga). Los extremos de variabilidad climática natural (por ejemplo, sequías prolongadas) pueden indicar que algunos atributos del agua subterránea están fuera del margen de tolerancia del sistema, lo que resulta en un daño socioeconómico y/o ambiental. En algunas áreas, el cambio climático inducido por el hombre amenaza con cambiar con mayor frecuencia el ambiente hidrológico de modo tal que su estado queda fuera del margen de tolerancia del sistema, posiblemente perpetuando ese daño (Fig. 10.4).

Las adaptaciones son ajustes realizados en sistemas naturales o humanos en respuesta a condiciones climáticas experimentadas o proyectadas o a sus efectos o impactos beneficiarios o adversos. En el contexto de este informe (y de la Figura 10.4), las adaptaciones tratan de reducir la vulnerabilidad de los sistemas que dependen del agua subterránea al cambio climático y a la variabilidad hidrológica. Las adaptaciones son en esencia respuestas de gestión a los riesgos asociados con la variabilidad del clima y el cambio climático.

5.2 Gestión de adaptación del agua subterránea

Esta sección contiene una revisión de las opciones de adaptación a los riesgos que el cambio climático y la variabilidad hidrológica constituyen para los sistemas que dependen del agua subterránea. Está estructurada en cinco grupos de opciones que fueron

analizados en la sección y en cinco temas principales del proceso del agua subterránea:

- Gestión de la recarga de agua subterránea.
- Protección de la calidad del agua subterránea.
- Gestión del almacenamiento de agua subterránea.
- Gestión de la demanda de agua subterránea.
- Gestión de la descarga de agua subterránea.

El informe descriptivo (Banco Mundial, 2009) brinda un panorama detallado de las opciones de adaptación. A continuación, se presenta una breve descripción de las mismas:

Manejo de la recarga de agua subterránea: Las áreas de recarga de agua subterránea pueden manejarse para proteger o mejorar los recursos hídricos y para mantener o mejorar la calidad del agua. Si bien el último aspecto también se trata en la Sección 6, es importante aquí porque las actividades en las áreas de recarga de agua subterránea que producen la contaminación de dichas aguas también reducen la disponibilidad del recurso.

Protección de la calidad del agua subterránea: el cambio climático y la variabilidad hidrológica pueden afectar la calidad del agua subterránea que está disponible para ser usada por un sistema que depende del agua subterránea. Esto ocurre en las aguas subterráneas que se encuentran en pequeñas islas y zonas costeras y que están sujetas al aumento del nivel del mar. También ocurre en casos en que la menor seguridad del suministro lleva a los administradores de

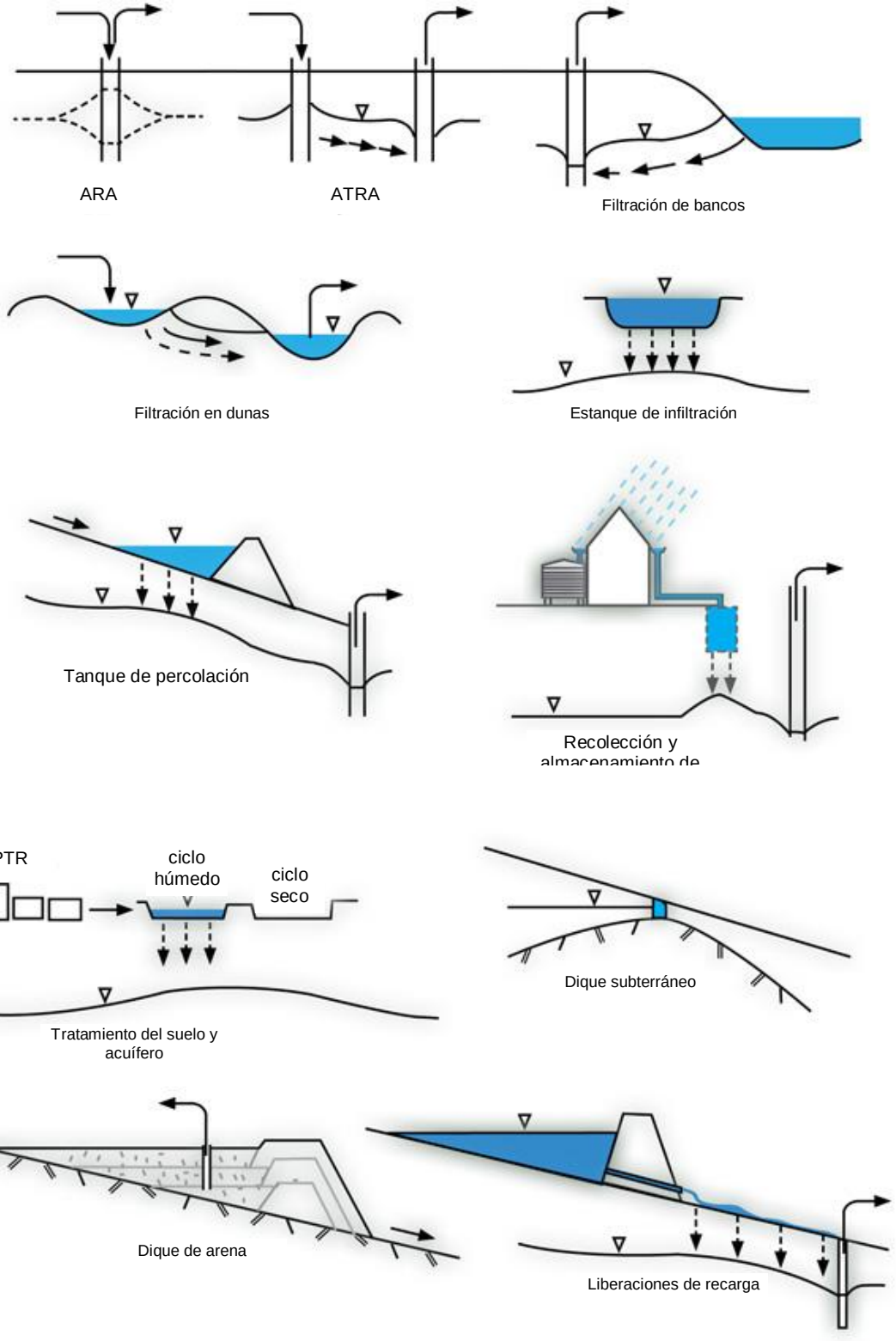
Tabla 10.2 Opciones de adaptación: desarrollo de capacidades de adaptación

Grupo de opción de adaptación	Adaptaciones
Capital social Estas opciones permiten a las comunidades comprender los riesgos climáticos e hidrológicos y participar activamente en las respuestas de gestión.	• Educación y capacitación: mejorar la comprensión de la comunidad y de las partes interesadas sobre los riesgos climáticos y su capacidad para participar en las respuestas de gestión y/o generar, modificar o aplicar adaptaciones. • Gobernabilidad: delegar parte de la responsabilidad de planificación y gestión de las aguas subterráneas a las comunidades locales a fin de aumentar la "posesión" local de problemas y respuestas. • Compartir información: estimular procesos para compartir información referida a riesgos climáticos y respuestas dentro y entre comunidades vulnerables.
Información de recursos Reunir y proporcionar información sobre riesgos climáticos y sobre el sistema de agua subterránea que se gestiona.	• Comprender el clima: análisis de información histórica y paleo-climática para comprender los impulsores naturales de la variabilidad climática. • Proyecciones sobre el cambio climático: desarrollo de proyecciones reducidas del cambio climático para el área de interés. • Cuantificar el sistema de aguas subterráneas: comprender la escala y las características de los acuíferos; recarga, procesos de transmisión y de descarga; balance hídrico (incluido el uso); calidad del agua, etc. • Monitoreo, evaluación e informes sobre el estado del agua subterránea.
Investigación y desarrollo Actividades de investigación y desarrollo para mejorar la efectividad de las respuestas adaptativas al cambio climático y a la variabilidad hidrológica.	• Evaluaciones del impacto climático: estudios para definir mejor la naturaleza de los impactos del cambio climático previstos en el sistema de aguas subterráneas y los respectivos riesgos climáticos e hidrológicos. • Gestión de la recarga de agua subterránea: métodos. • Gestión del almacenamiento del agua subterránea: tecnologías, gestión del agua y otras prácticas para maximizar la capacidad de almacenamiento de agua subterránea y la disponibilidad de los recursos. • Protección de la calidad del agua: tecnologías y sistemas de gestión para permitir el tratamiento y reuso de agua contaminada y evitar la contaminación del agua de mejor calidad por aguas de calidad inferior. Protección de los acuíferos isleños y costeros contra los efectos del aumento del nivel del mar. • Gestión de la demanda de agua subterránea: tecnologías y prácticas de gestión que mejoren la eficiencia de los usos urbanos y agrícolas, reduzcan los requisitos de calidad del agua para usos no potables o que reduzcan la necesidad de agua.
Gobernabilidad e instituciones Mejorar la gobernabilidad y los acuerdos institucionales para la gestión de las aguas subterráneas. Regímenes de planificación mejorados para los sistemas de agua subterránea y para los respectivos sistemas humanos y naturales.	• Gestión conjunta del agua superficial y subterránea en áreas rurales. Gestión integrada del ciclo del agua (incluidas diferentes fuentes potables y no potables en áreas urbanas). • Acuerdos de planificación multi-jurisdiccional y de gestión de sistemas de acuíferos de gran escala que traspasan límites jurisdiccionales. • Definición de las asignaciones de agua basadas en recursos compartidos más que en volumen. • Establecimiento y regulación de estándares para, por ejemplo, la planificación del uso de la tierra y del agua subterránea, gobernabilidad del agua, gestión ambiental. • Planificación de la respuesta a las sequías.
Mercados Establecimiento y operación de mercados de abastecimiento de agua y de los respectivos servicios ambientales.	• Mercados: establecimiento y operación de mercados para la comercialización del agua dentro de un sistema de aguas subterráneas. Mercado para determinar el precio del agua. • Derechos de propiedad: establecer el libre deuda y los derechos de propiedad del agua subterránea.

los recursos hídricos a incluir agua de menor calidad en el suministro (por ejemplo, a través de la recarga del acuífero) o cuando aumenta la presión sobre el agua subterránea y genera un mayor uso y mayor riesgo de contaminación de un acuífero de alta calidad por un acuífero subyacente o supra-yacente de menor calidad.

Manejo del almacenamiento de agua subterránea: si bien se considera a los acuíferos como depósitos de agua subterránea, pocas veces se operan con el mismo nivel de precisión y monitoreo que los grandes depósitos de agua superficial. Hay oportunidades para manejar los depósitos de agua subterránea de manera más efectiva y para reducir la vulnerabilidad de los sistemas

Figura 10.5 Ejemplos de enfoques de recarga de acuíferos (RA). ARA: almacenamiento y recuperación de acuíferos; ATRA: almacenamiento, tratamiento y recuperación de acuíferos; PTAR: planta de tratamiento de aguas residuales. Fuente: Peter Dillon (comunicación personal, 2008)



que dependen de ellos al cambio climático y a la variabilidad hidrológica.

Gestión de la demanda de agua subterránea: Con frecuencia, las adaptaciones de los recursos hídricos al cambio climático funcionan de acuerdo con la gestión de la demanda. En muchos casos, las adaptaciones de sistemas que dependen del agua subterránea y del agua superficial serán idénticas.

En aquellas áreas donde el suministro de agua superficial se ve reducido por el cambio climático, es probable que se ponga mayor énfasis en el uso de agua subterránea como adaptación al cambio climático. Para ello habrá que prestar mayor atención a la gestión de la demanda de agua subterránea y a la gestión conjunta con el agua superficial. El agua subterránea también se podrá usar para almacenar el excedente de agua superficial en períodos de abundancia y reservarla para los períodos de escasez.

Gestión de la descarga de agua subterránea: Los sistemas de acuíferos descargan agua en la superficie de la tierra, en ríos, lagos, humedales o cerca de ambientes marítimos. La descarga, recarga y utilización se encuentran en un estado de equilibrio dinámico, de modo que los cambios en la recarga o utilización finalmente resultan en un cambio en la descarga. En algunos ambientes es posible aumentar la disponibilidad del recurso (para uso humano) reduciendo la descarga de agua subterránea.

5.3 Desarrollo de capacidades adaptativas para la gestión de las aguas subterráneas

El desarrollo de capacidades adaptativas es un tema transversal crucial o al menos se aplica a múltiples temas. Las opciones de desarrollo de capacidades adaptativas generalmente tienden a brindar las condiciones necesarias para implementar con éxito otras formas de adaptación antes que a gestionar o evitar directamente riesgos hidrológicos o climáticos. A fin de ilustrar la importancia del tema, el Banco Mundial (2009) ha propuesto algunas opciones de adaptación (Tabla 10.2).

6. Ejemplo de adaptación: gestión de la recarga y almacenamiento de acuíferos

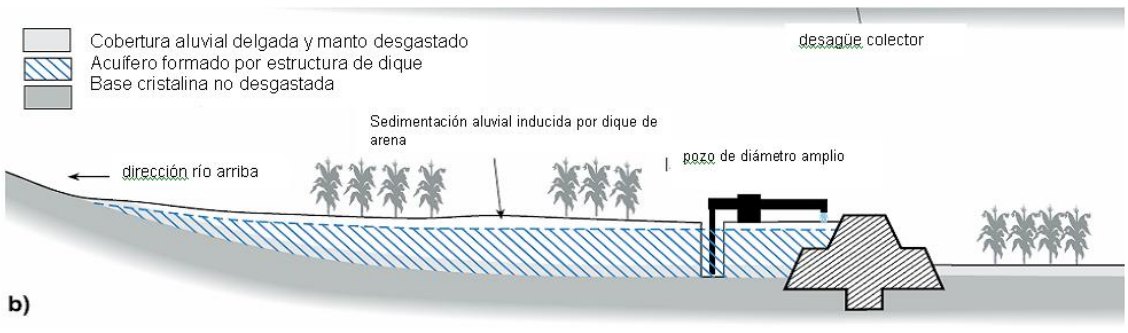
6.1 Recarga de acuíferos gestionados

La recarga de acuíferos gestionados (RCG) implica la creación de infraestructura y/o la modificación del terreno para mejorar intencionalmente la recarga de agua subterránea (Fig. 10.5). La RCG constituye una de las respuestas de adaptación de "recarga de acuíferos gestionados" y se la considera cada vez más como una opción para mejorar el abastecimiento de agua en áreas donde la misma escasea (Gale, 2005).

La RCG es una de las oportunidades de adaptación más significativas para los países en desarrollo que intentan reducir la vulnerabilidad al cambio climático y a la variabilidad hidrológica. Entre los beneficios que brinda figuran: almacenamiento de agua para uso futuro, estabilización o recuperación de los niveles de agua subterránea en acuíferos sobreexplotados, reducción de las pérdidas por evaporación, control de la intrusión salina o del asentamiento del suelo, y reuso de aguas residuales o pluviales.

La implementación de la RCG requiere de oportunidades para el almacenamiento adecuado de agua subterránea. La reducción en los niveles de agua o en las presiones que se ejercen sobre ella en los acuíferos en muchas regiones del mundo crea tales oportunidades, ya sea como condiciones no saturadas en acuíferos no confinados o como reducción de presión en acuíferos confinados.

Figura 10.6 Sección transversal de la estructura del dique de arena (de Foster y Tuinhof, 2004)



Sin embargo, la RCG no soluciona la escasez de agua en todas las áreas. Es necesario que las condiciones de los acuíferos sean las adecuadas y también que haya fuentes apropiadas de agua (por ejemplo, flujos excesivos de agua superficial en estaciones húmedas o aguas residuales tratadas). Antes de comenzar, habrá que determinar el potencial de la RCG en cualquier país o región.

Es necesario llevar a cabo una detallada planificación y evaluación para determinar si la RCG es una opción de adaptación factible. Esto se puede realizar a escala nacional y de cuenca hidrográfica, teniendo en cuenta:

- La disponibilidad de agua;
- La adaptabilidad hidrogeológica: y
- La factibilidad

6.2 Ejemplo de RCG: diques de arena en Kenia

Los diques de arena se construyen levantando un muro a través del cauce de un río que desacelera las inundaciones repentinas/flujos efímeros y permite que los sedimentos más gruesos se depositen y se acumulen detrás del muro del dique. La sedimentación crea un acuífero artificial de poca profundidad que se recarga lateral y verticalmente por el flujo de la corriente (Gale, 2005).

Desde 1995 se han construido más de 400 diques de arena en el distrito Kitui de Kenia con el apoyo de la SASOL Foundation (Fig. 10.6; Foster y Tuinhof, 2004). Cada uno de estos diques almacena al menos 2.000 metros cúbicos de agua y han sido construidos por las comunidades con materiales adquiridos en la localidad. Algunos de los beneficios de este programa incluyen: mayor disponibilidad de agua en la estación seca, mayor seguridad en el suministro de alimentos durante períodos de sequía y menor tiempo de traslado para conseguir agua.

Los diques de arena no son aptos en todas partes. Es necesario contar con un lecho de roca no meteorizado y relativamente impermeable a poca profundidad; la formación rocosa predominante en el área debe erosionarse hasta formar sedimentos gruesos y arenosos; se requiere un desbordamiento suficiente para que arrastre los sedimentos finos; y el riesgo de acumulación de sal en el suelo y en el agua subterránea debe ser bajo. El esfuerzo cooperativo, la posesión y el mantenimiento continuo por parte de la comunidad local también son necesarios para el éxito de estos proyectos (Foster y Tuinhof, 2004).

6.3 El enfoque integrado: gestión de los contenedores de agua - el enfoque de las 3R

Debido al cambio climático, cabe esperar mayores altibajos en la disponibilidad de agua y estaciones lluviosas cada vez más erráticas. Esta creciente incertidumbre hace que la gestión de los contenedores de agua desempeñe un rol central.

Para gestionar los contenedores de agua a escala, se ha desarrollado la iniciativa de las 3R. La visión de las 3R es ayudar a las personas, incluso aquellas que pasan por épocas difíciles y que viven en lugares precarios, a confiar en que el cambio climático no afectará sustancialmente sus medios de vida, sino que incluso los podrá mejorar mediante la gestión de la contención de las aguas locales.

Las 3R son los tres pasos en el manejo de la contención: recarga, retención y reuso. La contención de agua es el almacenamiento que se produce especialmente en la parte superior del suelo, en los acuíferos de poca profundidad y en el almacenamiento en la superficie local. El manejo del agua contenida es de vital importancia: determina la manera en que la gente vive y las economías que se deben sustentar. Cuando se enfrenta una crisis local de agua, la idea no es asignar el agua escasa sino captar el agua y extender lo más posible la cadena de uso y reuso dentro de una cuenca, teniendo en cuenta todas las personas y el ambiente que predominan entre todas las cuencas.

Las 3R se pueden aplicar en áreas húmedas y áridas, urbanas y rurales. Las 3R deben formar parte del ordenamiento territorial local y del desarrollo regional. Consiste en aumentar las técnicas de almacenamiento local de agua (diques sub-superficiales, diques de arena, almacenamiento superficial), la infiltración a gran escala, la creación de bancos de agua, la retención de agua subterránea en áreas muy húmedas, la gestión conjunta de grandes áreas bajo riego, el drenaje controlado, la adaptación de la planificación vial a la recarga y retención de agua, etc. Muchas de estas técnicas tendrán una justificación económica.

Referencias y lecturas en la web

Döll, P and Floerke, M. 2005. *Global-scale estimation of diffuse groundwater recharge: model tuning to local data for semi-arid and arid regions and assessment of climate change impact*. Frankfurt Hydrology Paper. August, 2005 http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/dl/f_publikationen/2005/FHP_03_Doell_Floerke_2005.pdf

Foster, S and Tuinhof, A. 2004. *Sustainable Groundwater Management, Lessons from Practice: Brazil, Kenya: Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence*. GW-MATE Case Profile Collection, número 5. The World Bank, Washington. 8 pp.

Gale, I. (ed).2005. *Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in Semi-arid Areas*. Publicación de la UNESCO. 34 pp. Available on-line: http://www.iah.org/recharge/

Documentos de información introductoria: *Hydrological Science Journal*, volumen 54, número 4, agosto de 2009, publicación especial: *Groundwater and Climate in Africa*. Available on-line at: http://iahs.info/hsj/hsj544.htm

Van Steenbergen, F and A. Tuinhof (2009); Managing the Water Buffer for Development and Climate Change Adaptation; disponible en PDF en http://www.bebuffered.com/

World Bank (2009) *Water and climate change: Impacts on groundwater resources and adaptation options. Water Unit, - Energy, Transport, and Water Department.*

Módulo 11: Gestión de la información y comunicación

Objetivos de aprendizaje:

- Entender que la gestión de la información permite la gestión efectiva del agua subterránea.
- Comprender el proceso de gestión de la información y conocer algunas de las herramientas utilizadas.
- Identificar productos importantes de gestión de la información para el agua subterránea y conocer la manera de difundirlos.
- Comprender la importancia de la comunicación entre las partes interesadas en la gestión efectiva del agua subterránea.
- Conocer los conceptos y las herramientas típicas de comunicación de la gestión de las aguas subterráneas.

1. Introducción

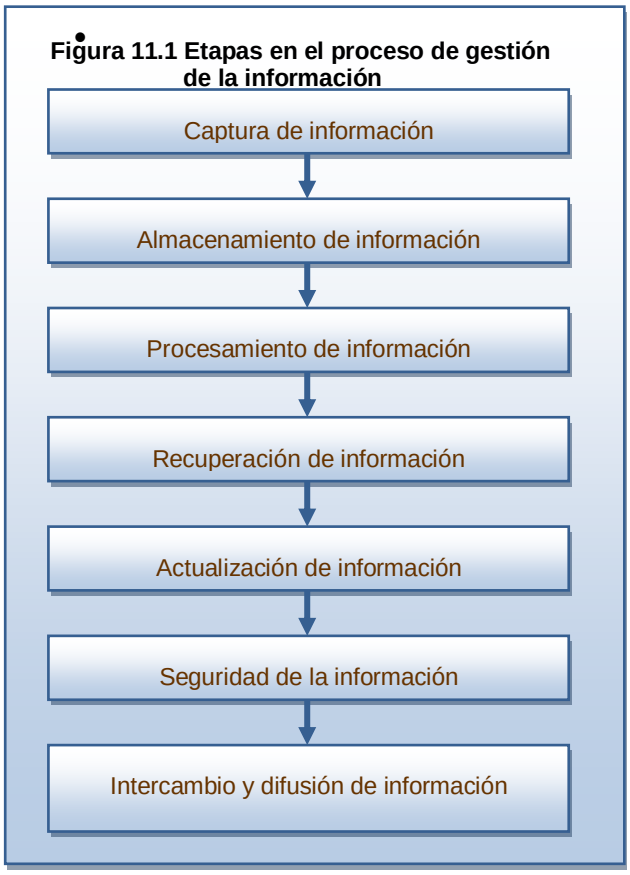
Gestión de la información

Para tomar decisiones responsables sobre la manera de asignar el agua subterránea en el presente y en el futuro, es necesario contar con información exhaustiva, precisa y oportuna. Por lo tanto, hay que identificar los temas clave de gestión de las aguas subterráneas dentro de una unidad definida de gestión pragmática, tal como una cuenca, y priorizar la información (esencial y no esencial) requerida para tratar estos temas. La etapa final más importante es decidir qué y a quién informar, y cómo comunicar el informe. Por consiguiente, para una implementación efectiva de la gestión de las aguas subterráneas, es necesario que la función de gestión de la información esté a cargo, preferentemente, de una Unidad de Gestión de la información (UGI) como parte de sus actividades normales dentro de una institución de gestión tal como podría ser una Organización de Cuenca (OCF). En este módulo se supone que la gestión de las aguas subterráneas está a cargo de una OCF (o de un organismo que sea parte de una institución más importante de gestión de recursos hídricos), y que el proceso de gestión de la información comprende toda la cuenca y el agua superficial y subterránea. Esta sección se basa principalmente en el Módulo 8 sobre Gestión de la Información en el manual de capacitación en GIRH para organismos de cuencas hidrográficas (Cap-Net, 2008).

Comunicación

La comunicación está íntimamente vinculada a la información y a la gestión de la información. La gestión de la información se refiere al proceso más técnico de recopilar, almacenar y difundir información basada en temas identificados de gestión y en las necesidades de información de las diferentes partes interesadas. La comunicación se centra más en la dimensión humana de la gestión de la información. En una comunicación efectiva, todas las partes interesadas participan en la definición de temas de gestión del agua y en la identificación de sus necesidades de información (a menudo diferentes) durante la gestión. En este sentido, la comunicación es la base para una gestión exitosa de la información. En este módulo se presentan cuatro aspectos de la comunicación: (i)

Figura 11.1 Etapas en el proceso de gestión de la información



algunos principios de comunicación, (ii) el contexto más amplio y la importancia de la comunicación en la gestión de las aguas subterráneas, (iii) herramientas de comunicación, y (iv) se brindan algunos comentarios sobre nuestro rol y oportunidades personales en la comunicación.

2. Proceso de gestión de la información

En la Fig. 11.1 se presentan las etapas genéricas del proceso de gestión de la información que se pueden utilizar para manejar y derivar la información deseada a fin de tomar decisiones e informar a las partes interesadas dentro de una OCF. A los efectos de la gestión de las aguas subterráneas, a continuación solo se explica la captura, el procesamiento, la actualización, el intercambio y la difusión de información. Los demás procesos se rigen por el proceso general de gestión de la información para la cuenca.

Captura de información

La primera etapa consiste en decidir "qué" y "cómo" capturar la información deseada. El "qué" se definirá de acuerdo con las necesidades prioritarias de información de los usuarios y según sean los objetivos de gestión de las aguas subterráneas en una cuenca. Por consiguiente, se deberá hacer un listado de la información requerida.

Para el tema de gestión de la calidad del agua subterránea, es necesario contar con información sobre el contexto y los parámetros de calidad actuales, flujo de agua subterránea y usuarios/usos del agua. Es probable que parte de la información requerida ya haya sido procesada. Por ejemplo, la dirección del flujo se determina a través de mediciones del nivel de agua subterránea. Esto significa que los datos sin procesar sobre niveles freáticos deberán ser extraídos de los pozos de observación o extracción.

Una vez que se identifican las necesidades de información sin procesar, hay que definir qué métodos se utilizarán para la captura de datos. Los métodos pueden ser simples o complejos, y ello dependerá de los niveles deseados de precisión y oportunidad de la información y de restricciones técnicas y financieras. El capítulo sobre monitoreo detalla los diferentes métodos disponibles para capturar datos sin procesar, las limitaciones asociadas y las compensaciones que hay que realizar dadas las restricciones de recursos (humanos y materiales).

Procesamiento de información

La información deseada normalmente se procesa a partir de datos primarios o de nivel inferior. Por consiguiente, es necesario decidir el nivel de procesamiento y el control de calidad requerido para producir la información deseada y también definir los métodos de procesamiento a utilizar. El capítulo sobre monitoreo analiza las técnicas de control de los niveles y calidad del agua subterránea.

Intercambio y difusión de información

Se debe decidir qué, cómo y de qué manera se compartirá y difundirá la información a fin de sustentar la toma de decisiones y mantener informada a las partes interesadas. La selección de los métodos dependerá de los recursos disponibles y del público al que se destina la información. La OCF tendrá que decidir qué métodos se usarán para transmitir dicha información a los usuarios y cómo responderán a las preguntas sobre la información publicada. La Tabla 11.1 ofrece ejemplos de diferentes audiencias y de sus correspondientes requisitos de información así como de sus métodos y canales de difusión apropiados.

Todas las partes interesadas deben tener acceso a un informe anual del estado de los recursos hídricos de la cuenca. También deberán tener acceso a un sistema donde presentar quejas y hacer preguntas sobre gestión y asignación del agua en la cuenca. Para ello debería haber formularios de quejas o preguntas, ya sea impresos o en formato electrónico en Internet. La UGI no será responsable de mantener todas las bases de datos para generar los productos mencionados precedentemente. Sin embargo, la UGI debe coordinar con las agencias pertinentes que mantienen las bases de datos la producción y entrega de los productos requeridos a los administradores del agua para la toma de decisiones.

Plan de gestión de la información

Las restricciones financieras y de recursos humanos limitará la capacidad de una OCF para recopilar, analizar, interpretar, usar y compartir información. Por lo tanto, la OCF tiene que darle prioridad a la recopilación y procesamiento de información a fin de generar la información necesaria para resolver los apremiantes problemas de GIRH en una cuenca. Se debe priorizar e incorporar en un Plan de Gestión de Información los requisitos de información sobre gestión de las aguas subterráneas y superficiales que satisfagan las necesidades inmediatas de la GIRH en la cuenca y que se puedan implementar a pesar de los limitados recursos de la OCF. El ejercicio sistemático mencionado precedentemente también puede ayudar a la OCF a definir el desarrollo de capacidades de gestión de la información y las posibles áreas en las que se puede invertir en mejoras técnicas y de sistemas.

3. Herramientas de gestión de la información

La gestión de la información se define comúnmente como “la recopilación y manejo de información proveniente de una o más fuentes y la distribución de esa información a uno o más públicos”. Para facilitar la organización y clasificación de la información, será necesario conocer los tipos genéricos de información y sus características. Además, la UGI debería conocer cuáles son las herramientas de gestión de la información de las que dispone. Luego, la UGI debe trabajar con especialistas en tecnologías de la información y comunicación (TIC) para desarrollar y personalizar dichas herramientas para sus operaciones.

Tipos de información y sus características

Existe una amplia variedad de tipos de información que se pueden seleccionar con diferentes fines (consultar la Tabla 11.2 a continuación).

Ejemplos de algunas herramientas de gestión de la información

Los rápidos adelantos en TIC han permitido desarrollar nuevas herramientas y de esta manera ayudar a una OCF en las tareas de gestión de la información. Estas herramientas han mejorado la generación, procesamiento y difusión de la información.

- se pueden desarrollar *bases de datos y sistemas especializados de procesamiento de datos* para procesar datos primarios a ser almacenados en las bases de datos. Normalmente, los sistemas se desarrollan según las necesidades de información específica de los usuarios y cumplen con una serie de procedimientos de procesamiento de la información muy claros.

- los *sistemas de información geográfica (SIG)* utilizan la capacidad de una computadora para exhibir y analizar los datos espaciales que están vinculados con las bases de datos. Cuando se actualiza una base de datos específica, también se actualiza el mapa asociado. Así, la continua actualización de los datos obtenidos del monitoreo permite que las partes interesadas cuenten con mapas actualizados. Las bases de datos de SIG pueden incluir una amplia variedad de información tal como población y sitios de perforación, puntos críticos de contaminación, etcétera.

- el programa *“Google Earth”* combina la capacidad del buscador de Google con imágenes satelitales, mapas, relieve y estructuras en 3D para brindar una vista aérea de la información geográfica del mundo sobre cualquier área de interés. La mayoría de las imágenes satelitales que se usan tienen entre uno y tres años de antigüedad. Por ejemplo, a partir de los mapas de *Google Earth*, un administrador de recursos hídricos puede identificar fronteras geológicas usando

características de la superficie para inferir estructuras tectónicas.

- los *sistemas de gestión de contenidos (SGC)* usan Internet estándar en la presentación de páginas web vinculadas para organizar y presentar la información en forma de informes. Hay varios tipos de SGC disponibles, muchos de los cuales son gratuitos. La información tipo informe es el formato más común que usan las partes interesadas para la toma de decisiones. Por lo tanto, el uso de un SGC para almacenar y publicar electrónicamente información tipo informe, ya sea en Internet o en CD/DVD, le permitirá a una OCF difundir e intercambiar información en forma efectiva. El SGC también tiene la ventaja de permitir un depósito central de información para datos e información que publican diferentes personas.

Pautas para el desarrollo de los sistemas de TIC

Se ha informado sobre numerosas fallas y malas experiencias de los administradores de recursos hídricos en la aplicación y en el uso de herramientas y sistemas de TIC para sus operaciones. Las siguientes pautas asistirán a la UGI en el desarrollo de sistemas de TIC:

- *Desarrollar el plan de gestión de la información*
  La UGI primero debe desarrollar su Plan de Gestión de la información para su cuenca, según se describe en la Sección 2. Siguiendo una serie de etapas en el proceso de gestión de la información para lograr llegar al plan, la UGI podrá comprender y valorar las necesidades de gestión de la información de los administradores del agua y de las partes interesadas en una cuenca. La UGI podrá entonces informar a los especialistas de TIC sobre lo que necesita para sus operaciones. Además, el plan permitirá a los especialistas de TIC asesorar a la UGI sobre las áreas en las que se puedan aplicar las herramientas de TIC para incrementar la efectividad de la UGI.

- *Emplear un director multidisciplinario de proyectos*
  Una causa frecuente de la falla de las herramientas de TIC es la falta de liderazgo técnico en el proyecto de TIC. El director de proyectos de un proyecto de TIC debe tener formación multidisciplinaria con conocimientos/experiencia tanto en la gestión del agua como en TIC. Esto garantizará que el director del proyecto comprenda las necesidades de gestión de la información de los administradores del agua subterránea, las incorpore al Plan de Gestión de la Información y las comunique a los especialistas de TIC.

- O*bjetivo de los sistemas de TIC que concuerda con la capacidad existente de la UGI*
  Otra causa frecuente del fracaso de los proyectos de TIC es la falta de capacidad de la UGI para operar los sistemas de TIC. Por lo tanto, es muy importante que los sistemas de TIC sean lo suficientemente "simples" como para ser operados por la UGI. Si se introducen nuevos sistemas de TIC para el agua subterránea, será necesario garantizar que el personal esté capacitado para operarlos.

- *Adoptar el desarrollo por etapas de los sistemas de TIC*
  La UGI debe rechazar el desarrollo de sistemas complejos e integrados y adoptar un enfoque por etapas en el desarrollo de los sistemas de TIC. El administrador del agua subterránea debe asegurar que el personal de una UGI domina las operaciones relacionadas con sus necesidades de gestión de la información antes de dedicarse a otra información, como por ejemplo agua superficial.

4. Gestión de la información y monitoreo, modelación y sistemas de apoyo para la toma de decisiones (SATD)

La gestión de la información está íntimamente relacionada con el monitoreo. El monitoreo de la calidad y cantidad de agua subterránea está diseñado de acuerdo con las necesidades de información, y los datos recopilados en los programas de monitoreo deben volver a traducirse en información para la gestión.

Es bastante común usar la simulación por computadora para modelar la calidad de agua,

el flujo base, etc. Las herramientas de TIC han sido desarrolladas para sustentar el vínculo y la integración de los modelos de simulación con el proceso de toma de decisiones a fin de brindar a los responsables de la toma de decisiones las herramientas de modelación de simulación para analizar situaciones hipotéticas mientras se toman las decisiones.

En vista de los comentarios destacados en la Sección 3, se recomienda a los especialistas en agua subterránea que adopten un enfoque cauto en el desarrollo y la promoción del uso de SATD.

5. ¿Qué es la comunicación y por qué es importante?

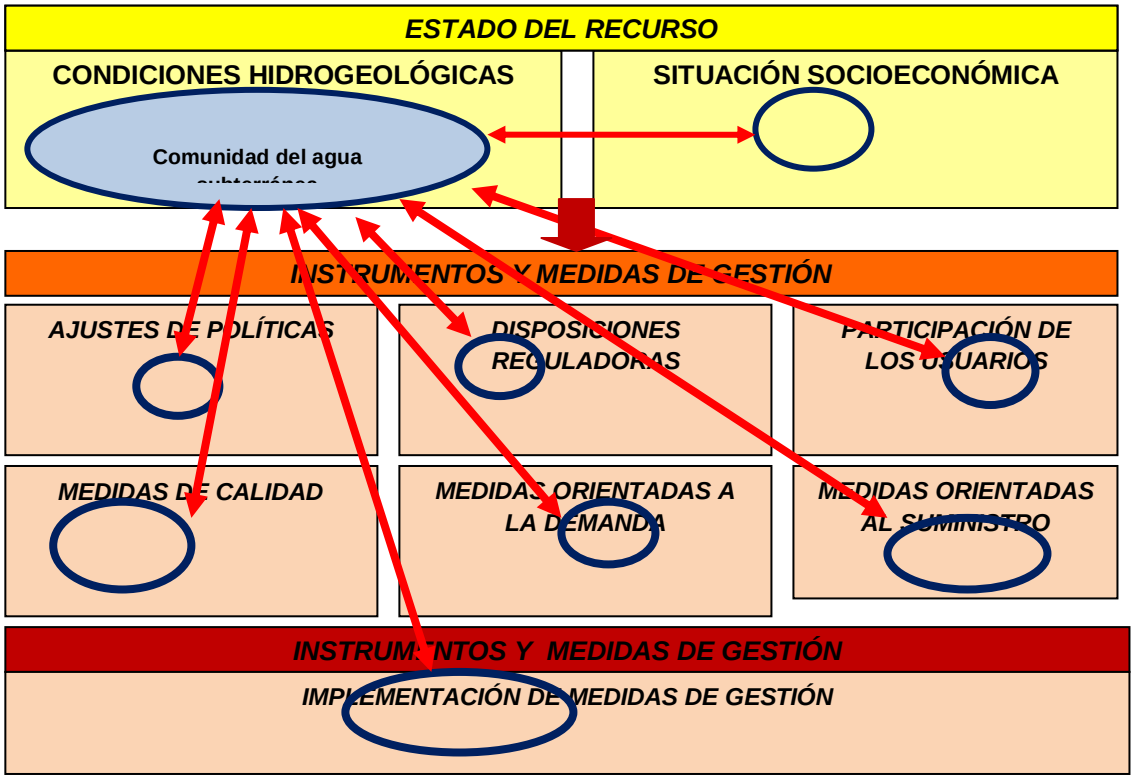
Definición

La comunicación es una habilidad que se aprende. La mayoría de las personas nacen con la capacidad física para hablar y oír, pero debemos aprender a expresarnos y a escuchar bien y a comunicarnos efectivamente. Hablar, escuchar y nuestra habilidad de comprender la comunicación verbal y no verbal son habilidades que desarrollamos de diferentes maneras.

Aprendemos las habilidades básicas de comunicación observando a otras personas y modelando nuestros comportamientos de acuerdo con lo que vemos. También aprendemos algunas habilidades de comunicación directamente a través de la educación, la práctica y la evaluación de esas habilidades.

La comunicación va más allá de la gestión de la información y se refiere a todas las interacciones necesarias entre las partes interesadas en la gestión de las aguas subterráneas en las diferentes etapas de explotación del recurso.

Figura 11.2 Líneas de comunicación en la gestión de las aguas subterráneas



Comunicación sobre agua subterránea

El rol específico de la comunicación para los expertos en aguas subterráneas es interactuar de manera efectiva con la amplia variedad de partes interesadas que participan en la explotación y gestión de las aguas subterráneas (Figura 11.2).

El desafío consiste en transmitir los conceptos clave del agua subterránea, teniendo en cuenta los frecuentes errores que existen con las partes interesadas que no tienen conocimientos en materia de aguas subterráneas e hidrogeología. Los "mitos" típicos sobre el agua subterránea se describen en la Nota informativa Nº 2 de GW-MATE e incluyen errores tales como "el agua subterránea es infinita comparada con su extracción" y "el bombeo de agua subterránea no tiene impacto aguas abajo". La comunidad del agua subterránea debe comunicar un recurso invisible ("lo que el público no ve, a los políticos no les interesa") a nivel político y a otras partes interesadas.

6. ¿Cuáles son los conceptos clave en la "comunicación sobre agua subterránea"?

El receptor no es un experto en aguas subterráneas

Al comunicar el mensaje sobre el agua subterránea hay que tener en cuenta que existen diferentes perspectivas, diferentes intereses y diferentes puntos de vista entre las partes interesadas (Figura 11.3) que deben ser consideradas al momento de diseñar nuestra estrategia y material de comunicación.

La imagen del agua subterránea

Otra característica del agua subterránea a tener en cuenta en la comunicación es la imagen negativa que muchas veces tiene. En las primeras etapas de explotación, el recurso parece ser infinito y hay poco o ningún incentivo para la gestión. Las necesidades de gestión por lo general surgen cuando aumenta la presión sobre el recurso y cuando hay conflictos entre los usuarios. Si la gestión y la regulación no se introducen en forma efectiva (o solo parcial), la presión sobre el recurso continuará. Dado que el recurso es invisible y los procesos físicos no se conocen, los administradores y los usuarios del agua adoptan una percepción negativa y consideran que el agua subterránea se relaciona con problemas y restricciones. Por lo general, cuando la gestión se torna inevitable, se convoca a expertos en aguas subterráneas para evaluar el recurso y la factibilidad técnica e hidrológica de las opciones de gestión (Figura 11.4).

Esto se puede tratar a través de la comunicación mediante la presentación de conceptos simples y claves de recarga, flujo y descarga de agua subterránea usando gráficos y/o simulaciones de modelos que puedan comprender las personas que no sean profesionales del agua subterránea.
También es importante comunicar los puntos fuertes del agua subterránea, tales como:

- Disponible cuando es necesario: acceso universal
- Naturalmente protegido: calidad segura y estable
- Capacidad de almacenamiento: nuestro reservorio más grande
- Agua subterránea salobre: el recurso no explotado
- Agua subterránea profunda: extensión vertical del recurso
- Caudal ecológico: flujo base de humedales y de ríos
- Temperatura estable: fuente de energía sostenible
- Tratamiento natural: disminución de la contaminación

Resaltar los puntos fuertes del agua subterránea es de hecho una manera de comercializar y el uso de herramientas y métodos de comercialización adecuados puede ser útil para mejorar el perfil del agua subterránea.

7. Métodos, materiales y destrezas de comunicación

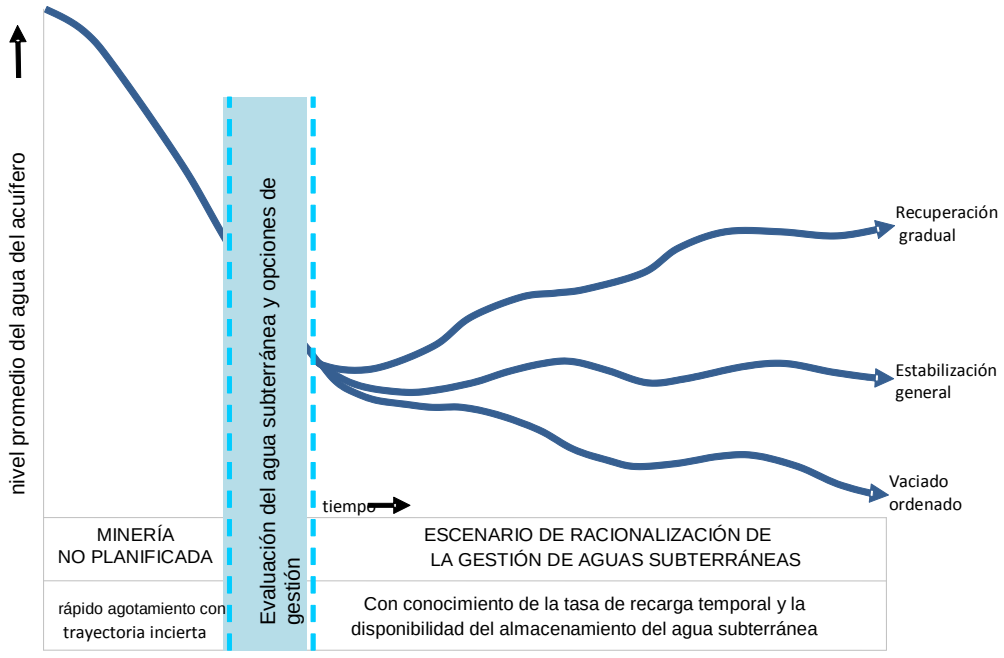
La comunicación es un tema genérico y hay abundante bibliografía, libros de texto y cursos sobre métodos, materiales y destrezas de comunicación. En Internet se puede encontrar amplia información y ejemplos. En esta sección solo se brindan unos pocos comentarios y ejemplos.

Métodos de comunicación

Estamos en constante comunicación (tanto en nuestra vida privada como profesional) cuando interactuamos con otras personas, desde una comunicación personal hasta el dictado de una conferencia.

Los diferentes métodos de comunicación reflejan estos ambientes:

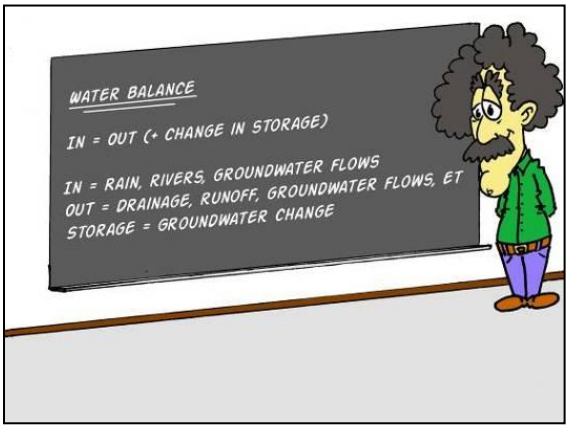
- persona a persona: cara a cara, leer una carta, hacer una llamada telefónica
- en un grupo pequeño: planificación, solución de problemas, toma de decisiones, informes escritos, memorandos, tableros de anuncios
- en una reunión: presentación, transacción, negociación de acuerdos
- uso de los medios de comunicación: hablar en público, por la radio o televisión, escribir para los medios impresos como periódicos y revistas, libros, publicidad
- otros: capacitación, enseñanza, entretenimiento.



Material de comunicación

Hay una amplia variedad de materiales disponibles para los diferentes métodos de comunicación que varían desde libros, artículos e informes hasta volantes, folletos, películas o animaciones y otros materiales audiovisuales. El propósito de este módulo no es analizar el material de comunicación y las estrategias de comunicación en detalle. Dado que los expertos en aguas subterráneas generalmente no tienen capacitación en comunicación, se recomienda consultar a un especialista en información para que diseñe un plan de comunicación y seleccionar el material más adecuado en función del tipo de comunicación que se requiere. Unas pocas recomendaciones generales con respecto a la selección de materiales de comunicación son:

Figura 11.5 Caricatura del sitio web *Know With the Flow*: http://www.knowwiththeflow.org/



1. Por qué utilizar caricaturas
2. Ejemplo de historieta
3. Cómo crear caricaturas
4. Consejos para crear caricaturas
5. Enlaces interesantes

- Una imagen/un diagrama simple dice más que mil palabras.
- Las caricaturas son una manera efectiva de abordar los conceptos clave y los errores.
- Animaciones y videos: tales como el *Water Channel* que contiene una gran cantidad de videos sobre gestión del agua, incluidos más de 20 sobre agua subterránea. http://www.thewaterchannel.tv/

A continuación, se brindan algunos ejemplos de materiales útiles de

Habilidades comunicacionales

Las habilidades comunicacionales constituyen la etapa final del proceso y se refieren a la forma en que actuamos y nos comportamos en nuestra comunicación. Las habilidades comunicacionales incluyen la presentación oral, la presentación escrita y la comunicación no verbal (Figura 11.6)

El material de su presentación debe ser conciso, pertinente y debe contar una historia interesante. Además de los componentes obvios como son el contenido y los medios visuales, los siguientes aspectos son igualmente importantes, ya que el público los absorberá inconscientemente:

- Su voz: la manera de decir las cosas es tan importante como lo que se dice.
- Lenguaje corporal: todo un tema y algo sobre lo que se ha dicho y escrito mucho. En esencia, los movimientos de su cuerpo expresan realmente cuáles son sus actitudes y pensamientos.
- Apariencia: las primeras impresiones influyen en las actitudes del público respecto de su persona. Vístase adecuadamente para la ocasión.

Al igual que la mayoría de las habilidades personales, la comunicación oral no se puede enseñar. Los instructores solo pueden señalar el camino. Como siempre, la práctica es esencial, tanto para mejorar sus habilidades como para aprovechar al máximo cada presentación individual que realice.

8. Lecciones

A partir de la experiencia de los sistemas de gestión de la información y de la información presentada anteriormente, las lecciones a tener en cuenta son:

- Una buena gestión de la información es esencial para la gestión efectiva del agua subterránea y de los recursos hídricos de una cuenca.

Figura 11.7 Habilidades Comunicacionales

- Los sistemas de gestión de la información deben ser realistas y funcionar de acuerdo con los recursos disponibles;
- Se deben adoptar herramientas de gestión de la información y sistemas de TIC en un proceso organizado que combine las capacidades y la confiabilidad de la base de datos; y
- La efectividad del sistema de gestión de la información se demuestra a través de productos de información que satisfacen las necesidades de los administradores de recursos hídricos y de las partes interesadas.

Referencias y lecturas en la web

Cap-Net, 2008. Módulo 8, Gestión de la información en el Manual de Capacitación de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos para organizaciones de cuencas hidrográficas. http://www.cap-net.org/node/1494

Tilak Raj Kapoor (2007); Role of Information and Communication Technology in Adaptive Integrated Water Resources Management; publicación de American Society of Civil Engineers. http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?0603740

- Information Management (http://en.wikipedia.org/wiki/Information_management)
- What is GIS and how does it work? (http://www.mapcruzin.com/what-is-gis.htm)
- Google Earth (http://earth.google.com)
- Know With the Flow: http://www.knowwiththeflow.org/
- The Water Channel: http://www.thewaterchannel.tv/

EJERCICIO

Gestión de la información

Objetivo: una OCH ha establecido recientemente un plan de gestión de las aguas subterráneas y le ha otorgado a la Unidad de Gestión de la Información (UGI) un presupuesto limitado para incorporar la gestión de las aguas subterráneas en el plan de gestión de la información. El presupuesto alcanzará para que la UGI satisfaga algunas de las necesidades de información de los usuarios del agua.

Los actores y sus roles

Habrá 5 grupos de actores. Ellos son:

(a) Equipo de la UGI
(b) Equipo de gestión de las aguas subterráneas dentro de la OCH
(c) Una organización basada en la comunidad que representa a las comunidades rurales que utilizan los pozos como fuente de agua potable
(d) Una ONG ambiental
(e) Una empresa minera

Los participantes se dividirán en los 5 grupos antes mencionados. Deben dedicar 30 minutos a sesiones grupales individuales antes de reunirse en la Sesión Plenaria de 30 minutos. En la Sesión Plenaria, el grupo de la UGI dirigirá el foro y los otros grupos harán sus respectivos pedidos de productos de información que necesitan del grupo de la UGI.

Los roles de los 5 grupos son los siguientes:

(a) UGI: debe identificar y priorizar todos los productos de gestión de la información que pueda necesitar el administrador de recursos hídricos y las partes interesadas. Posteriormente, en la Sesión Plenaria deberá informar que no ha podido satisfacer todas las necesidades de gestión de la información de las partes interesadas debido a que el presupuesto con que cuenta es limitado. Cabe destacar que parte de la información solicitada ya existe para la gestión del agua superficial.
(b) Equipo de gestión de las aguas subterráneas: debe identificar todos los productos de gestión de la información que debe proporcionar la UGI para cumplir con su responsabilidad de gestión del agua en la cuenca.
(c) Organización basada en la comunidad: debe identificar todos los productos de gestión de la información que desea de la UGI para tomar decisiones sobre uso doméstico del agua.
(d) ONG ambiental: debe identificar todos los productos de gestión de la información que desea de la UGI para poder cumplir su objetivo de proteger el ecosistema de humedales en la cuenca.
(e) Empresa minera: debe identificar todos los productos de gestión de la información que desea de la UGI para poder operar de la manera más rentable posible.

Moderador

Deberá destacar cómo la UGI toma las decisiones sobre gestión de información esencial y no esencial, las estrategias que adoptará el equipo de gestión de las aguas subterráneas y las diferentes partes interesadas en ausencia de su lista favorita de información y, finalmente, si las partes interesadas perciben que la propuesta de la UGI es mejor que cuando comenzó la reunión.