

Gestión de las aguas freáticas en la GIRH

Manual de capacitación



GW-MATE



Cap-Net

Febrero de 2010



ÍNDICE

PREFACIO	4
AGRADECIMIENTOS	5
MÓDULO 1: LA GIRH Y EL MARCO DE LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	6
1. Introducción: Por qué es importante la gestión de las aguas freáticas	6
2. ¿Qué es la GIRH?.....	6
2.1 Marco general	8
2.2 Áreas de cambio de la GIRH	8
2.3 Entorno favorable	9
2.4 Roles institucionales	10
2.5 Instrumentos de gestión	10
3. Recursos de aguas freáticas	11
4. Gestión de las aguas freáticas	11
5. ¿Por qué un enfoque de la GIRH hacia la gestión de las aguas freáticas?	11
Referencias y lecturas web	14
Ejercicio:	14
MÓDULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ACUÍFEROS PARA LA GESTIÓN DE LAS AGUAS FREÁTICAS	15
1. Introducción	15
2. Presencia de las aguas freáticas	15
3. Caudal de agua freática	18
4. Problemas de calidad del agua freática que surgen naturalmente	22
5. Información necesaria para la gestión de las aguas freáticas	25
6. Resumen: ¿Por qué debemos conocer la correcta gestión de las aguas freáticas?	27
Referencias y lecturas web	29
Ejercicio.....	28
MÓDULO 3: GESTIÓN INTEGRADA DE LAS AGUAS FREÁTICAS EN PRÁCTICA	30
1. Marco de los sistemas de caudal de agua freática	30
2. Enfoques hacia la práctica de gestión y gobernabilidad de las aguas freáticas	31
3. Funciones de gestión de las aguas freáticas	32
4. Incorporación de la gestión de las aguas freáticas en las estrategias de la GIRH	34
4.1 Opciones clave de la política	34
4.2 Las aguas freáticas en la planificación de la GIRH nacional	35
4.3 Planificación integrada de la cuenca	36
5. Enfoques para los acuíferos transfronterizos	39
6. RHF y entorno	40
7. Resumen	42
Referencias y lecturas web	42
Ejercicio.....	42
MÓDULO 4: LEGISLACIÓN Y REGULACIÓN DE LAS AGUAS FREÁTICAS	43
1. ¿Por qué debe haber una legislación de las aguas freáticas?	43
2. Conceptos legales básicos	44
3. Evolución de la legislación de las aguas freáticas	44
4. Componentes de la legislación	45
5. Acuerdos institucionales	47
Referencias y lecturas web	50
MÓDULO 5: AUTORIZACIÓN Y ASIGNACIÓN DE LAS AGUAS FREÁTICAS	51
1. Introducción	51
2. ¿Por qué se necesita un sistema de derechos del agua freática?	51
3. ¿Qué implica un sistema de derechos del agua freática?	52
4. Asignación de aguas freáticas	53
4.1 ¿Cuáles son los principales criterios de asignación?	53
4.2 ¿Cómo se pueden administrar los derechos del agua freática?	53
4.3 ¿Cuáles son las principales interacciones en la administración de los derechos del agua freática?	56
5. Asignación de recursos de aguas subterráneas no renovables	57
6. Puntos del resumen:	57
Referencias y lecturas web	57
Ejercicio.....	58

MÓDULO 6: INSTRUMENTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS FREÁTICAS	59
1. ¿Por qué son importantes las consideraciones económicas en la protección y gestión de las aguas freáticas?	59
2. Explicación de los instrumentos económicos y financieros	59
2.1 Instrumentos económicos.	59
2.2 Instrumentos de gestión	60
2.3 Valor del agua.	61
3. El agua como bien económico y social	62
4. Aplicación de los instrumentos económicos y financieros.....	63
5. Instrumentos económicos y financieros en la gestión de las aguas freáticas	64
6. ¿Qué pasos se necesitan para presentar los instrumentos económicos para la gestión de las aguas freáticas?	65
7. Puntos para recordar	66
Referencias y lecturas web	66
Ejercicio.....	67
MÓDULO 7: PARTICIPACIÓN DE LOS GRUPOS DE INTERÉS EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS FREÁTICAS	68
1. ¿Por qué deben participar los grupos de interés?	68
2. Identificación de grupos de interés clave.	69
3. Funciones de los grupos de interés en la gestión de las aguas freáticas.....	71
4. Mecanismos institucionales para la participación de los grupos de interés en la gestión de las aguas freáticas	72
5. Movilización de los grupos de interés	73
6. Observaciones finales	74
Referencias web.....	75
Ejercicio.....	75
MÓDULO 8: GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA FREÁTICA	76
1. Introducción	76
¿Por qué los suministros hídricos freáticos merecen protección?	76
2. Evaluación de riesgos	76
2.1 ¿Cómo se contaminan los acuíferos?	76
2.2 ¿Cómo se puede evaluar la amenaza de contaminación de las aguas freáticas?	77
2.3 ¿Cómo se mide y se controla la calidad de las aguas freáticas?	79
3. Sistemas de gestión de la calidad y contaminación de las aguas freáticas	79
3.1 Protección de las aguas freáticas de la contaminación	79
3.2 El ciclo de vida de los desechos y la contaminación de las aguas freáticas	80
3.3 ¿Qué comprende la protección de la contaminación de las aguas freáticas?	82
3.4 ¿Quién debe promover la protección de la contaminación de las aguas freáticas?	82
3.5 Calidad del agua freática y el agua residual urbana	83
Referencias y lecturas web	85
Ejercicio.....	85
MÓDULO 9: CONTROL DE LAS AGUAS FREÁTICAS	86
1. Introducción	86
1.1 Ciclo de control de las aguas freáticas	86
1.2 Beneficios del control	87
1.3 ¿Cómo se realiza el control?	87
2. ¿Cómo podemos garantizar que el control de las aguas subterráneas sea rentable?	88
2.1 Diseño básico de una red de control	89
3. ¿Cómo se debe compartir la responsabilidad del control de las aguas subterráneas?	92
4. Diseño de la red de control	93
5. Resumen	96
Referencias y lecturas web	96
Ejercicio.....	96
MÓDULO 10: AGUAS FREÁTICAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	97

1.	Conceptos fundamentales	97
1.1	Aguas subterráneas y el ciclo hidrológico	97
1.2	Cambio climático y variabilidad hidrológica	97
2.	Impactos del cambio climático en las aguas subterráneas	99
2.1	Recarga	99
2.2	Descarga	99
2.3	Almacenamiento de las aguas subterráneas	100
2.4	Calidad del agua	100
3.	Impactos de factores no climáticos	101
4.	Consecuencias para los sistemas y sectores dependientes de las aguas freáticas	101
4.1	Comunidades rurales y urbanas	102
4.2	Agricultura	102
4.2	Ecosistemas	102
4.4	Incertidumbres y brechas de conocimiento	103
5.	Adaptación a los cambios climáticos	104
5.1	¿Qué es la adaptación?	104
5.2	Gestión de adaptación de las aguas freáticas	104
5.3	Creación de capacidad adaptativa para la gestión de las aguas freáticas	107
6.	Ejemplo de adaptación: gestión de la recarga y el almacenamiento del acuífero	107
6.1	Recarga gestionada del acuífero	107
6.2	Ejemplo de RGA: diques de arena en Kenia	108
6.3	El enfoque integrado: gestionar los contenedores de agua: el enfoque 3R	108
	Referencias y lecturas web	109
	MÓDULO 11: GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN	110
1.	Introducción	110
2.	Proceso de gestión de la información	111
3.	Herramientas de gestión de la información	112
4.	Gestión de la información y control, modelos y sistemas de soporte de decisiones (SSD)	113
5.	¿Qué es la comunicación y por qué es importante?	114
6.	¿Cuáles son los conceptos clave en la "comunicación de las aguas freáticas"?	116
7.	Métodos, materiales y destrezas de comunicación	117
8.	Lecciones	118
	Referencias y lecturas web	118
	Ejercicio.....	119

Prefacio

En muchos países, las aguas freáticas son de vital importancia para los medios de vida y la salud de las personas ya que a menudo son la fuente principal de agua para el uso doméstico. También se utilizan ampliamente para la agricultura de riego y la industria. Esto es particularmente cierto en las regiones secas donde el agua superficial es escasa o estacional, y en las áreas rurales con poblaciones dispersas. El cambio climático probablemente ocasione una mayor dependencia en las aguas freáticas como un amortiguador para la sequía, lo cual aumentará la incertidumbre sobre la disponibilidad del agua superficial.

Es ampliamente reconocido que los recursos hídricos, incluidas las aguas freáticas, están sufriendo presión por la demanda creciente y los rendimientos declinantes. Los sistemas de suministro de agua a menudo se han desarrollado de manera insostenible, amenazando el desarrollo social y económico fundamental. Como resultado, muchos gobiernos han reformado la gestión de los recursos hídricos al adoptar el enfoque conocido como la Gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH).

Agradecimientos

Este manual fue escrito por Richard Owen, Muna Mirghani, Moustapha Diene, Albert Tuinhof y Paul Taylor. Para la mayoría de los módulos, el manual ha tomado aportes liberalmente de las excelentes series de notas informativas escritas por los 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> y se

Un asunto importante ha sido la atención inadecuada a la gestión de las aguas freáticas dentro de las reformas hacia un enfoque de la GIRH. No obstante, una observación fundamental de la GIRH es que el agua es un recurso (interconectado) que requiere un enfoque holístico hacia la gestión y, por lo tanto, las aguas freáticas se deben incorporar por completo.

Después de una serie de estudios de caso en África y algunos cursos de capacitación piloto, Cap-Net, Africa Groundwater Network (AGW-Net) y GW-MATE (Equipo Asesor en Gestión de Aguas Freáticas) han colaborado para preparar estos materiales de capacitación sobre la gestión de las aguas freáticas. Un objetivo importante de estos materiales es abordar las aguas freáticas en la perspectiva de la GIRH. El objetivo del curso es presentar el marco más amplio de la gestión de las aguas freáticas a los expertos en aguas freáticas y los desafíos específicos de la gestión de dichos recursos a otros profesionales del agua.

Las aguas freáticas son técnicamente complejas, pero el experto técnico y el administrador de recursos hídricos deben lograr un acuerdo. Esperamos que estos materiales de capacitación ayuden a lograr ese objetivo.

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

encuentran disponibles en inglés y español. Las notas informativas, así como las presentaciones en PowerPoint y las traducciones, están incluidas en la versión en CD del manual de capacitación.

Las perspectivas expresadas en este documento no se pueden tomar de ninguna manera para representar la opinión oficial de la Unión Europea, el Banco Mundial o el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Crédito de la foto de la tapa: Comisión de Investigación de Agua, Sudáfrica

Módulo 1: La GIRH y el marco de la gestión de los recursos hídricos

Objetivos de aprendizaje

- Comprender los principios y temas clave en la GIRH y la relevancia de las aguas freáticas.
- Valorar las características especiales de las aguas freáticas frente a los recursos hídricos superficiales.
- Reconocer los desafíos que enfrenta la gestión de las aguas freáticas y la necesidad de nuevos enfoques para tratar los problemas de la gestión de recursos.
- Enfatizar las ventajas clave de la incorporación de la gestión de las aguas freáticas en la planificación nacional y de recursos hídricos de la cuenca hidrográfica.

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

③ Importancia de las aguas freáticas.

Las aguas freáticas son vitales para muchos países. En todo el mundo, alrededor de dos mil millones de personas, incontables agricultores y muchos parques industriales dependen de ellos para el suministro de agua. El desarrollo acelerado en las últimas décadas ha dado como resultado excelentes beneficios sociales y económicos al proporcionar suministros de agua a bajo costo, confiables durante las sequías y (principalmente) de alta calidad para la población urbana y rural, y para el riego de cultivos (de alto valor potencial). Otros usos serán vitales para el cumplimiento de las "Metas de Desarrollo del Milenio de las NU" (UN Millennium Development Goals).

③ Uso sostenible de las aguas freáticas

El desarrollo y la gestión sostenible de los recursos hídricos en todo el mundo se reconocen como una meta final de

las estrategias de agua nacionales. La sostenibilidad de las aguas freáticas está muy vinculada con una variedad de asuntos de micro y macropolíticas que influyen en el uso del agua y la tierra, y representan uno de los principales desafíos en la gestión de los recursos naturales. La inversión en la gestión y protección de los recursos básicos se ha descuidado gravemente. Se requieren con urgencia avances prácticos; no existe ningún plan de acción simple, debido a la variabilidad inherente de los sistemas de aguas freáticas y situaciones socioeconómicas relacionadas. Muchos países subdesarrollados deben valorar su dependencia socioeconómica de las aguas freáticas e invertir en el refuerzo de las disposiciones institucionales y la creación de la capacidad institucional para su gestión mejorada antes de que sea demasiado tarde.

La separación institucional tradicional del agua superficial del agua freática ha creado barreras en la comunicación fundamental que ahora se extienden de la pericia técnica hasta los desarrolladores de políticas, los gerentes operativos y los usuarios del agua. Estas barreras impiden la comprensión de los procesos y las consecuencias de las interacciones del agua superficial y freática.

2. ¿Qué es la GIRH?

La Gestión integrada de los recursos hídricos es un enfoque que promueve el desarrollo y la gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados, a fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.

Esto incluye el desarrollo y la gestión más coordinados de:

- ③ la tierra y el agua,
- ③ el agua superficial y freática,
- ③ la cuenca hidrográfica y su entorno costero y marino adyacente,
- ③ intereses río arriba y río abajo.

Sin embargo, la GIRH no se trata sólo de la gestión de los recursos físicos, sino también de la reforma de los sistemas humanos para permitir que las personas, tanto hombres como mujeres, se beneficien de esos recursos.

En pocas palabras, la GIRH es un concepto lógico y atractivo. Se basa en que los diferentes usos de los recursos hídricos son interdependientes. Eso es evidente para todos nosotros. Las elevadas demandas de riego y las aguas de desagüe contaminadas de la agricultura implican menos agua dulce para beber o para el uso industrial; las aguas residuales municipales e industriales contaminan los ríos y amenazan a los ecosistemas; si se debe dejar el agua en un río para proteger a la industria pesquera y los ecosistemas, se puede destinar menos a los cultivos. Hay muchos otros ejemplos del tema básico de que el uso no regulado de los escasos recursos hídricos implica derroche y es esencialmente insostenible.

Gestión integrada significa que todos los diferentes usos de los recursos hídricos se consideran en forma conjunta. Las decisiones acerca de la asignación y la gestión de 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 del desarrollo sostenible. Esto también significa asegurar la creación de políticas coherentes en relación con todos los sectores. Como se verá, el concepto básico de GIRH se amplió para incorporar la toma de decisiones participativa.

Los diferentes grupos de usuarios (agricultores, comunidades, medioambientalistas) pueden influir en las estrategias para el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos. Esto brinda beneficios adicionales, ya que los usuarios informados aplican una autorregulación local en relación con cuestiones tales como la conservación del agua y la protección de la captación de una forma mucho más efectiva que pueden lograr una regulación y una supervisión centrales.



Gestión se utiliza en su sentido más amplio. Enfatiza que no sólo debemos centrarnos en el desarrollo de los recursos hídricos sino que debemos gestionar de forma consciente el desarrollo hídrico de manera que garantice el 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 control del uso de los recursos hídricos en el contexto de objetivos sociales, económicos y medioambientales. Contrasta con el enfoque sectorial que aún se aplica en muchos países. Cuando la responsabilidad del agua potable recae en una agencia, la del agua de riego en otra y la del medio ambiente en otra diferente, la falta de vínculos entre los diferentes sectores lleva a la falta de coordinación de la

Cuadro 1.1. Declaraciones y principios de Dublín

Principio N.º 1: el agua dulce es un recurso limitado y vulnerable, esencial para la vida, el desarrollo y el medio ambiente.

Ya que el agua sustenta la vida, la gestión efectiva de los recursos hídricos demanda un enfoque holístico, que vincula el desarrollo social y económico con la protección de los ecosistemas naturales. La gestión efectiva vincula los usos del agua y la tierra en toda el área de captación o acuíferos freáticos.

Principio N.º 2: el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos deben basarse en un enfoque participativo, que involucre a los usuarios, a los planificadores y a los formuladores de políticas en todos los niveles.

El enfoque participativo implica la toma de conciencia de la importancia del agua entre los formuladores de políticas y el público en general. Significa que las decisiones se toman en el nivel más bajo correspondiente, con una consulta pública total y la participación de los usuarios en la planificación y la implementación de los proyectos de agua.

Principio N.º 3: las mujeres tienen un papel central en la provisión, gestión y cuidado del agua.

El rol fundamental de las mujeres como proveedoras y usuarias de agua y custodias del entorno comunitario rara vez se ha 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 aborden las necesidades específicas de las mujeres, y las equipen y autoricen a participar en todos los niveles de los programas de los recursos hídricos, incluida la toma de decisiones y la implementación, según se considere necesario.

Principio N.º 4: el agua tiene un valor económico en todos sus usos competitivos, por lo que debería reconocerse como un bien económico.

En este principio, 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. El antiguo error de reconocer el valor económico del agua ha llevado al mal uso o al uso perjudicial para el medio ambiente del recurso. La gestión de los recursos hídricos como bien económico es un modo importante de lograr objetivos sociales tales como el uso eficiente y equitativo, y de alentar la conservación y protección de los recursos hídricos.

gestión y el desarrollo de los recursos hídricos, lo que ocasiona conflictos, desechos y sistemas insostenibles.

- ③ Instrumentos de gestión: entre los que se incluyen la evaluación de recursos, la gestión de la información, la asignación

Figura 1.1: Triángulo de implementación de la GIRH



de recursos y las herramientas de protección.

2.1 Marco general

La GIRH trata del fortalecimiento de los marcos para que la gobernabilidad del agua fomente la buena toma de decisiones como respuesta a las 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 establece un marco general basado en los principios de Dublín (Cuadro 1.1) y los tres pilares que impulsan la sostenibilidad: eficiencia económica, sostenibilidad medioambiental y equidad social (Figura 1.1).

Para implementar un enfoque de la GIRH, las áreas de acción clave como se muestran en la Fig. 1.1 son:

- ③ Creación de un entorno: que incluya una estructura de políticas, legislación, regulación, financiación e incentivos.
- ③ Roles institucionales: que consideren modelos que tengan en cuenta los intereses del acuífero y de la cuenca hidrográfica, centrales y locales, públicos y privados.

Estas tres áreas de acción se consideran esenciales para implementar la GIRH e impulsan 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 del agua que refleje los principios de la gestión sostenible de los recursos hídricos. Poner la política en práctica requiere la reforma de las leyes que regulan el uso del agua y las instituciones relacionadas. Esto puede ser un largo proceso y se deben incluir las consultas extensivas con las agencias afectadas y con el público.

La implementación de la GIRH se lleva a cabo en un proceso gradual, con algunos cambios que tienen lugar inmediatamente y otros que requieren varios años de planificación y fortalecimiento de las capacidades.

2.2 Áreas de cambio de la GIRH

La adopción de un enfoque más sostenible e integrado hacia la gestión y el desarrollo de los recursos hídricos requiere un cambio en muchas áreas y en muchos niveles. Si bien

puede ser una propuesta desalentadora, es importante recordar que el cambio gradual generará resultados más sostenibles que un intento por reconstruir por completo el sistema en una operación. Al comenzar el proceso de cambio, hay que tener en cuenta:

- ③ ¿Qué cambios deben producirse para lograr los objetivos acordados?
- ③ ¿Dónde es posible el cambio dada la situación social, política y económica actual?
- ③ ¿Cuál es la secuencia lógica para el cambio? ¿Qué cambios son necesarios en primer lugar para que otros cambios sean posibles?

Al considerar cómo deben gestionarse los recursos hídricos en el futuro, se identifican las distintas áreas disponibles para el cambio para los planificadores en la caja de herramientas de la GWP y se enumeran en el Cuadro 1.2.

2.3 Entorno favorable

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. La legislación a menudo queda rezagada en términos de respuesta a los cambios dinámicos en la situación de los recursos hídricos y la sociedad.

Por lo general, las leyes y regulaciones asociadas que tienen un impacto en los recursos hídricos se encuentran en diferentes sectores, y el derecho consuetudinario hace que la situación sea aún más compleja. Las leyes y regulaciones medioambientales, las regulaciones de descarga de aguas residuales, las leyes y regulaciones de suministro de agua, los trabajos hidráulicos y las regulaciones de perforación de pozos a menudo están descoordinados y son preparados por diferentes agencias en momentos diferentes. El objetivo general del

proceso de reforma legal es garantizar que puedan ponerse en práctica los propósitos clave de la política con un respaldo legal y que haya coherencia en las leyes y regulaciones en todos los sectores que tengan un impacto en los recursos hídricos. Algunos de los objetivos clave para el entorno favorable son:

- ③ Establecimiento del gobierno como el “propietario” de todos los recursos hídricos y a un ministerio seleccionado como autoridad y agencia reguladora de la gestión de los recursos hídricos.
- ③ Reconocimiento de convenciones y acuerdos internacionales que incluyen protocolos transfronterizos, por ejemplo, la convención y los protocolos de los pantanos para cursos de agua compartidos.
- ③ Establecimiento de mecanismos efectivos de asignación del agua, incluido el soporte de decisiones para la priorización, por ejemplo, el uso doméstico y los caudales medioambientales como la primera prioridad.
- ③ Establecimiento de mecanismos para la gestión de la contaminación en armonía con las leyes y regulaciones medioambientales, por ejemplo, la clasificación de los cuerpos de agua, los estándares de descarga y los estándares de control.
- ③ Especificación de un fundamento jurídico para la reforma institucional, por ejemplo, la gestión en una base de captación, comités de recursos hídricos, el gobierno como un ente posibilitador, no un proveedor.



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

ENTORNO FAVORABLE

1. Políticas: fijación de objetivos para el uso, la protección y la conservación del agua.
2. Marco legislativo: reglas para aplicar o lograr políticas y objetivos.
3. Estructuras de financiación e incentivo: asignación de recursos financieros para satisfacer las necesidades de agua.

ROLES INSTITUCIONALES

4. Creación de un marco organizativo: formas y funciones.
5. Creación de 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 del agua de manera más eficiente.
9. Instrumentos de cambio social: fomento de una sociedad civil orientada al agua.
10. Resolución de conflictos: manejo de las disputas, garantía de uso compartido del agua.
11. Instrumentos reguladores: asignación y límites en el uso del agua.
12. Instrumentos económicos: utilización del valor y los precios para la eficiencia y la equidad.
13. Gestión e intercambio de información: optimización del conocimiento para una mejor gestión de los recursos hídricos.

2.4 Roles institucionales

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

- ③ Separar las funciones de la gestión de recursos hídricos de las funciones de prestación de servicios (riego, generación de energía hidráulica, suministro de agua y alcantarillado) y consolidar al gobierno como el propietario de los recursos hídricos: el ente posibilitador pero no el proveedor de servicios. Esto evitará conflictos de interés y fomentará la autonomía comercial.
- ③ Gestionar los recursos hídricos dentro de los límites de una captación, no dentro de límites administrativos, descentralizar las funciones reguladoras y de servicio al nivel más bajo correspondiente, y promover la participación de los grupos de interés y la participación pública en las decisiones de planificación y gestión.
- ③ Garantizar el balance entre el alcance y la complejidad de las funciones reguladoras, las habilidades y los recursos humanos requeridos para tratar con ellas. Se requiere un programa de creación de capacidades continuo para desarrollar y mantener las habilidades correspondientes.
- ③ Facilitar, regular y fomentar las posibles contribuciones del sector privado en la



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

financiación y la prestación de servicios (riego, generación de energía hidráulica, suministro de agua y alcantarillado).

2.5 Instrumentos de gestión

Las políticas y la legislación establecen la “estrategia de juego”, los roles institucionales definen quiénes son los “jugadores” y qué deben hacer, mientras que los instrumentos de gestión son las “competencias de los jugadores” y las “habilidades” necesarias para jugar el juego. En función de los problemas de los recursos hídricos del país en particular se deciden qué instrumentos de gestión son los más importantes y dónde deben concentrarse los esfuerzos. Problemas como riesgos de inundaciones, escasez de agua, contaminación, agotamientos de las aguas freáticas, conflictos río arriba/río abajo, erosión y sedimentación; todos requieren una combinación especial de herramientas de gestión para abordarlos de forma efectiva. Los objetivos clave dentro de los instrumentos de gestión son:

- ③ establecer un servicio hidrológico e hidrogeológico adaptado a la situación de los recursos hídricos y los problemas clave de los recursos hídricos;
- ③ establecer una base de conocimientos sobre los recursos hídricos que se derive del control y las evaluaciones de dichos recursos, suplementada por un modelo si fuera necesario y hacer que las partes adecuadas estén disponibles como parte de la concientización pública;
- ③ establecer un mecanismo de asignación de recursos hídricos, un sistema de permiso de extracción y descarga de aguas residuales y bases de datos relacionadas;
- ③ establecer capacidades de políticas y planificación, y desarrollar habilidades en la evaluación de los riesgos, el medio ambiente, la sociedad y la economía;
- ③ establecer competencias en la gestión de la demanda, incluido el uso



Ya tenemos muchos instrumentos de gestión que no funcionan, ¿habrá alguna diferencia esta vez?

- ③ de herramientas económicas; y establecer el desarrollo de recursos humanos y la creación de capacidades adaptados a los recursos hídricos y los asuntos institucionales.

3. Recursos de aguas freáticas

Las aguas freáticas son un componente importante del agua dulce total del mundo (Figura 1.2). Representan el 29,9% de los recursos de agua dulce de la tierra y el 99% de los recursos de agua de mar. Sin embargo, sólo el almacenamiento de agua freática que existe en agujeros/aberturas/fracturas conectados es accesible para el uso.

El agua freática suele reaccionar más lentamente que el agua superficial; por lo general, los procesos llevan más tiempo y, en consecuencia, la recarga y el saneamiento llevan mucho más tiempo. En la Tabla 1.1 a continuación se resumen importantes diferencias relacionadas con la gestión del recurso en comparación con el agua superficial.

4. Gestión de las aguas freáticas

El agua freática y el agua superficial están muy vinculadas y en un enfoque de la GIRH toda el agua debería gestionarse como un recurso. La gestión de las aguas freáticas principalmente tiene por objetivo el desarrollo sostenible del recurso para diferentes usuarios. Un asunto clave de las aguas freáticas sostenibles es equilibrar los recursos disponibles con las demandas crecientes del uso del agua. A tal efecto, los siguientes objetivos de gestión de recursos son fundamentales:

- el énfasis principal de la gestión de las aguas freáticas consiste en equilibrar la recarga de las aguas freáticas frente a la extracción (Figura 1.3).
- la protección de las aguas freáticas de la contaminación.

5. ¿Por qué un enfoque de la GIRH hacia la gestión de las aguas freáticas?

Figura 1.2: Componentes del agua total del TOTAL MUNDIAL (agua)

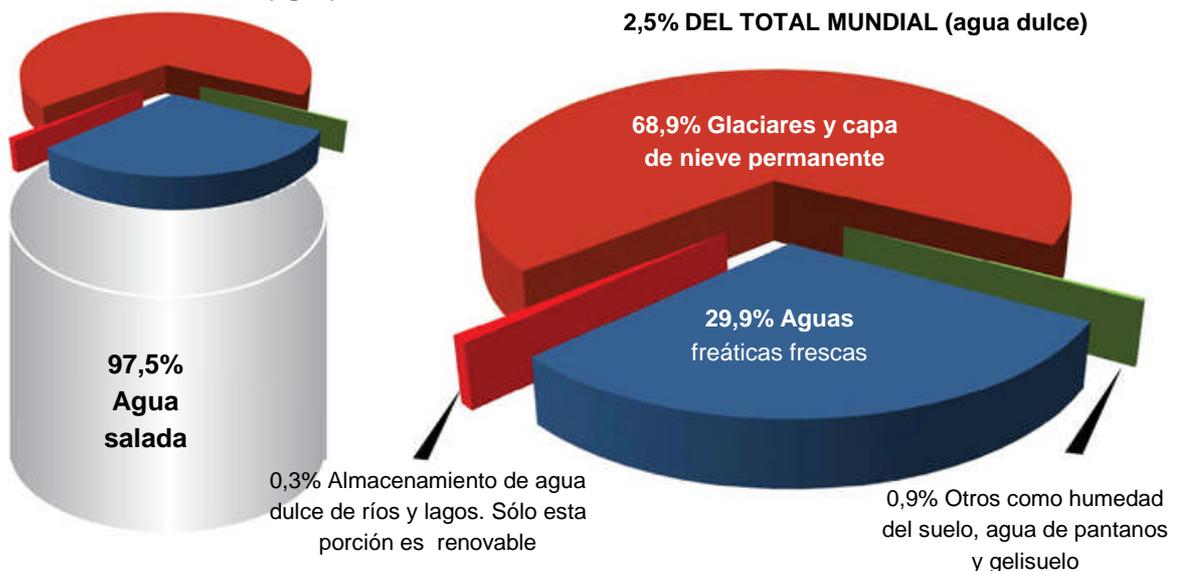


Tabla 1.1: Características distintivas del agua freática y superficial

Característica	Recursos de aguas freáticas y acuíferos	Recursos y reservas de agua superficial
Características hidrológicas		
Almacenamiento	Muy grande	Pequeño a moderado
Áreas de recursos	Relativamente no restringido	Restringido a los cuerpos de agua
Velocidad del caudal	Muy lenta	Moderada a alta
Tiempo de residencia	Generalmente décadas/siglos	Principalmente semanas/meses
Vulnerabilidad a sequías	Generalmente baja	Generalmente alta
Pérdidas por evaporación	Bajas y localizadas	Altas para las reservas
Evaluación de recursos	Alto costo e incertidumbre significativa	Costo más bajo y a menudo menor incertidumbre
Impactos de extracción	Retardados y dispersos	Inmediatos
Calidad natural	Generalmente (pero no siempre) altos	Variables
Vulnerabilidad a la contaminación	Protección natural variable	Ampliamente desprotegidos
Contaminación persistente	A menudo extrema	Principalmente temporal
Factores socioeconómicos		
Percepción pública	Mítica, impredecible	Estética, predecible
Costo de desarrollo	Generalmente modesto	A menudo alto
Riesgo de desarrollo	Menor que el percibido a menudo	Mayor que el supuesto a menudo
Estilo de desarrollo	Combinado público y privado	Ampliamente público

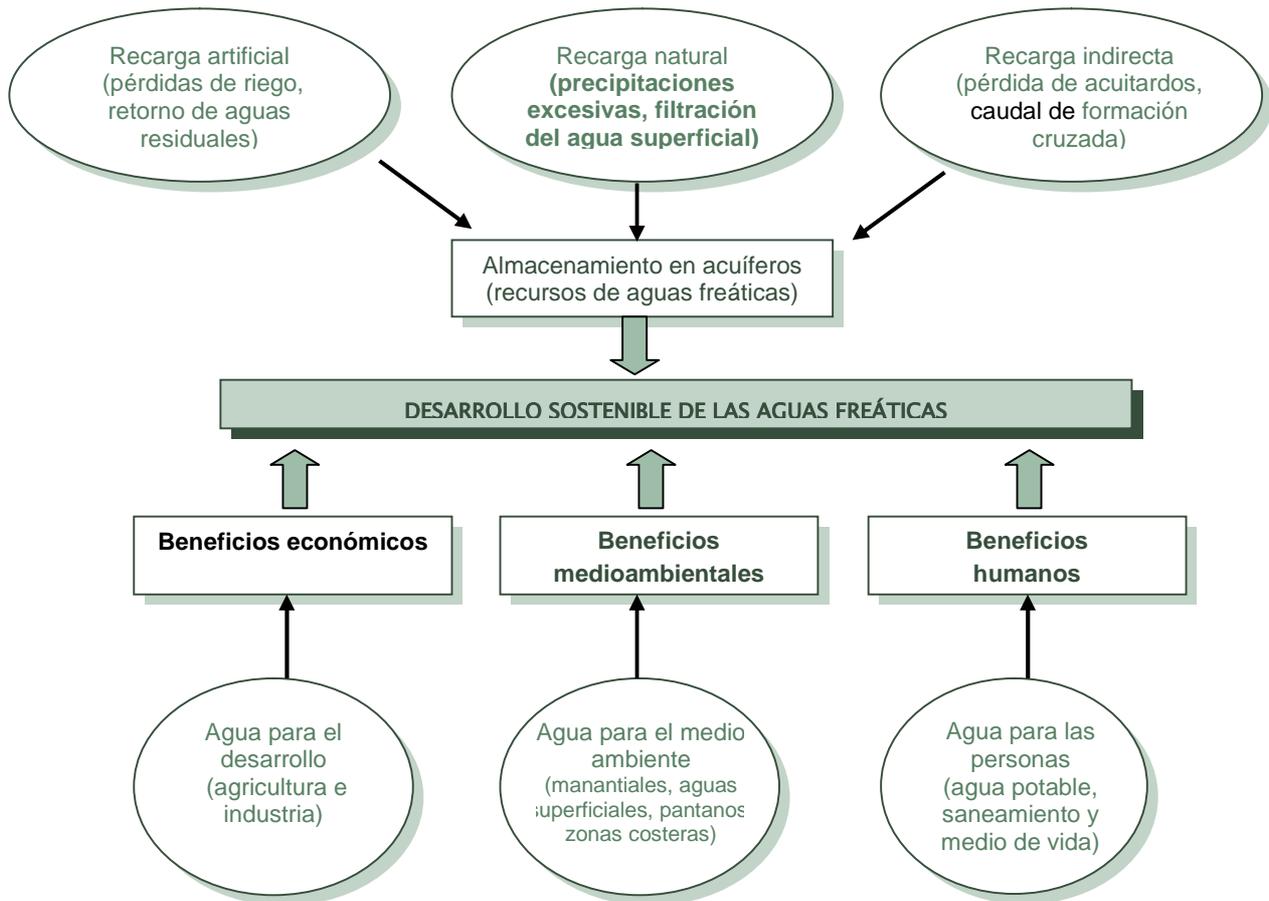
El desarrollo sostenible de los recursos hídricos no puede lograrse sólo con abordar la gestión de los recursos hídricos superficiales, sino que debe incluir el agua freática. Se necesita un nuevo enfoque guiado por los principios y objetivos de la GIRH para la gobernabilidad y gestión de las aguas

freáticas. El paradigma de cambio de la GIRH trata los siguientes asuntos clave:

Gestionar los recursos hídricos en una cuenca requiere que se tome en cuenta el agua superficial y freática porque:

- ③ la recarga de las aguas freáticas se ve
- ③ la escala de extracción de agua freática,

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



- ③ afectada por el uso del agua superficial; el agua superficial río abajo puede incluir una cantidad significativa del caudal intrínseco del agua freática, especialmente durante los períodos de bajo caudal;
- ③ el agua freática es más confiable que el agua superficial en épocas de sequía;
- ③ la contaminación del agua freática puede durar por siglos, lo cual provocaría que se reduzcan los recursos hídricos para las futuras generaciones.

- ③ y la cantidad y tipos de usuarios de agua freática;
- ③ el rol ecológico y los servicios medioambientales que dependen del agua freática;
- ③ la susceptibilidad y la vulnerabilidad del sistema del acuífero a la degradación;
- ③ problemas de calidad natural de las aguas freáticas (amenazas de elementos traza y presencia de agua salina);
- ③ Otros recursos hídricos disponibles.

El enfoque adoptado para la gestión de las aguas freáticas en cualquier momento dependerá, hasta un grado considerable, de la información sobre los siguientes factores y la interacción entre ellos:

- ③ el tamaño y la complejidad del recurso hídrico freático;
- ③ el grado de aridez climática y el índice de recarga del acuífero y de renovación del recurso;

Los Principios de Dublín (Cuadro 1.1) no se aplican únicamente al agua superficial, y la gestión del agua freática tiene que tener en cuenta los fundamentos que respaldan la adopción del enfoque de la GIRH que reconocen que:

- ③ El agua es un recurso escaso y vulnerable.
- ③ El agua es un bien económico.
- ③ Las mujeres tienen un papel central en la gestión de los recursos hídricos.

- ③ El desarrollo y la gestión de los recursos hídricos deben basarse en un enfoque participativo.

Referencias y lecturas 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.

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 freáticas.

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: analizar cómo pueden aplicarse los principios de Dublín en la gestión de las aguas freáticas.

Grupo 2: leer las recomendaciones de la siguiente tabla. Para cada situación describir cómo debe implementarse la gestión del agua superficial y freática en estas áreas.

Casos que ilustran entornos hidrogeológicos específicos que requieren un enfoque diferente

Entorno hidrogeológico	Característica principal	Recomendación
Acuíferos significativos con una extensión más limitada que la captación de la cuenca hidrográfica.	Las unidades de acuíferos o los cuerpos de aguas freáticas específicos requerirán planes de gestión local independientes.	Los planes deben tener en cuenta que la recarga de agua freática puede depender del caudal río arriba y el caudal río abajo puede depender de la descarga del acuífero.
Las cuencas hidrográficas subyacen extensamente a un acuífero cuaternario de poca profundidad.	Las relaciones entre el agua superficial y freática (y su gestión) son fundamentales para evitar tales problemas como la movilización de sal en el desmonte, el anegamiento de suelos y la salinización de la agricultura de riego.	La gestión y la planificación completamente integradas de los recursos hídricos son esenciales.
Extensos sistemas de acuíferos profundos que se producen en regiones más áridas.	El sistema de caudal de agua freática es predominante, hay poca agua superficial permanente.	No es útil establecer una "organización de cuenca hidrográfica", ni más válido definir un plan de gestión de los recursos hidrográficos freáticos y gestionar al "nivel del acuífero".
Acuíferos menores predominantes.	Caracterizados por poca profundidad, distribución desigual y bajo potencial. (por ejemplo, en muchas partes del escudo continental de África subsahariana), tendrán una interacción limitada con la cuenca hidrográfica suprayacente.	El almacenamiento no es suficiente para justificar la planificación y la administración integral de las aguas freáticas. Dada su importancia social en el suministro de agua rural, es apropiado esforzarse principalmente para lograr el diseño óptimo de los pozos de agua a fin de maximizar su rendimiento y la seguridad contra sequías, e identificar las restricciones impuestas por cualquier problema posible de calidad del agua freática que surja de manera natural.

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

Objetivos de aprendizaje:

- ③ Comprender las propiedades clave de los acuíferos para una mejor gestión de las aguas freáticas.
- ③ Comprender los principales entornos hidrogeológicos y la presencia de aguas freáticas, así como las consecuencias en términos de desarrollo de aguas freáticas.
- ③ Percatarse de la importancia de la caracterización de acuíferos en la gestión de aguas freáticas.

1. Introducción

El agua freática difiere del agua superficial como resultado de los diferentes entornos físicos y químicos en que se producen. Entre los acuíferos, existen enormes diferencias con respecto a los entornos geológicos en los que se producen, lo que afecta su capacidad de almacenar agua y transmitir el caudal. Además, las diferentes formaciones geológicas varían ampliamente en la medida en que exhiben estas propiedades y su extensión espacial varía, a veces significativamente, con la estructura geológica. Por lo tanto, la disponibilidad de las aguas freáticas dependerá del entorno hidrogeológico, que puede presentar una diversidad hidrogeológica significativa.

Por consiguiente, la gestión de las aguas freáticas tiene que basarse en una buena comprensión de las características del agua freática del sistema de aguas freáticas total. Esta comprensión requiere buenos datos sobre los recursos de investigaciones, control e interpretación.

2. Presencia de las aguas freáticas

¿Cuáles son las principales funciones de los acuíferos?

Las aguas freáticas se producen en la mayoría de las formaciones geológicas porque casi todas las rocas de cualquier tipo, origen o edad poseen aberturas llamadas poros, huecos o fracturas. Para el propósito de las

investigaciones hidrogeológicas tenemos que tratar con unidades hidrológicas, o el sistema hidrológico; según la escala de estudio que podamos identificar:

- Las cuencas hidrográficas que corresponden aproximadamente a la cuenca topográfica o de desagüe.
- Las cuencas de aguas freáticas que son un componente de la cuenca hidrográfica subterránea.
- Las unidades de acuífero o hidrogeológicas que contienen aguas freáticas; uno o muchos acuíferos pueden constituir una cuenca hidrogeológica.

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

Un acuífero, como una unidad hidrogeológica, está compuesto por dos fases principales que interactúan: una reserva que comprende una o muchas formaciones hidrogeológicas y agua freática.

La reserva tiene tres funciones importantes:

- ③ Capacidad de almacenamiento expresada a través del coeficiente de almacenamiento o rendimiento específico.
- ③ Capacidad de transferencia por gravedad o presión, expresada como transmisividad.
- ③ Interacción a través del intercambio físico y químico entre la roca reservorio y el agua freática.

Según los tipos de roca y los entornos 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 del trayecto del caudal y el tipo de materiales.

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

Cuadro 2.1: Definiciones y conceptos básicos

Un acuífero se define como una formación geológica (una capa o un grupo de capas) que pueden almacenar y producir una cantidad significativa de agua. Esta función depende de la naturaleza de la roca portadora de agua; los buenos acuíferos son aquellos con alta permeabilidad como arena, balasto y piedras areniscas o rocas muy fracturadas; pueden ser excelentes fuentes de agua para el uso humano.

Si una capa geológica puede almacenar, pero no tiene la capacidad de transmitir una cantidad significativa de agua, se denomina acuicludo. Puede ser el caso de la arcilla arenosa y algunas rocas consolidadas (lodolita, arcillas consolidadas o rocas cristalinas) donde las fracturas no están interconectadas.

Un acuitardo es una capa geológica confinada (con baja permeabilidad) que transmite bajas cantidades de agua en comparación con los acuíferos; la transferencia es principalmente vertical de acuífero a acuífero. Por ejemplo, las arenas arcillosas pueden identificarse como un acuitardo.

Se pueden distinguir dos tipos principales de acuíferos:

- sin límites (superficie libre), denominados acuíferos del nivel freático, que están rodeados por una superficie libre en el límite superior; como resultado, el nivel freático se encuentra bajo presión atmosférica;
- los acuíferos confinados (bajo presión) están rodeados por capas impermeables o semipermeables; en condiciones confinadas, el agua puede estar bajo presión y, cuando se perforan los pozos, el agua sube por encima del acuífero, o incluso por encima de la superficie del terreno (pozo artesiano).

Fuente: Batu, 1998

¿Cuáles son las formaciones hidrogeológicas más comunes?

La disponibilidad de las aguas freáticas depende principalmente del entorno geológico en que se producen. Los elementos más significativos de la diversidad hidrogeológica son:

- ③ Importante variación de la capacidad de almacenamiento del acuífero, entre sedimentos granulares no consolidados y rocas fracturadas altamente consolidadas.
- ③ Gran variación en el espesor saturado del acuífero entre diferentes tipos de depósito, lo que genera una amplia variedad de potencial de caudal de agua freática (transmisividad).

Los acuíferos sedimentarios no consolidados están compuestos principalmente por materiales sueltos: arena, balasto, granos aluviales, arena arcillosa, arcilla arenosa y arcilla. Constituyen un medio continuo y poroso. El agua freática se almacena y transmite a través de espacios porosos, no fracturas. Poseen una capacidad de almacenamiento de grande a muy grande y, por lo general, una enorme extensión regional.

Las rocas compactas y fracturadas o las formaciones consolidadas tienen aberturas que están principalmente compuestas por fracturas; éstas suelen constituir un medio discontinuo. En general, se pueden identificar dos tipos importantes de formaciones:

- ③ Rocas carbonatadas como piedras calizas, que son muy poco solubles en el agua de lluvia y, por lo tanto, las fracturas se pueden agrandar para formar karsts (canales de solución).
- ③ Las antiguas rocas cristalinas y metamórficas pueden estar muy fracturadas; también se pueden descomponer en la parte superior para formar un manto poroso y permeable de

materiales desgastados que pueden tener decenas de metros de espesor.

La diversidad hidrogeológica puede resumirse en elementos clave que identifican la mayoría de los tipos de acuíferos (Figura 2.1). Se caracterizan por la capacidad de almacenamiento de agua freática y la escala (longitud y tiempo de trayecto) del trayecto del caudal.

Las cuencas sedimentarias contienen muchos recursos de aguas freáticas; dos tipos de entornos hidrogeológicos constituyen acuíferos particularmente excelentes:

- ③ Importantes cuencas aluviales y costeras que constituyen acuíferos prolíficos.
- ③ Las rocas sedimentarias consolidadas como la piedra arenisca y las piedras calizas.

Tienen una amplia distribución espacial y poseen un gran espesor, lo que garantiza grandes volúmenes de almacenamiento de agua freática con caudal regional. También constituyen importantes acuíferos transfronterizos.


¿Cuáles son los acuíferos que se producen más ampliamente en uso en su país?

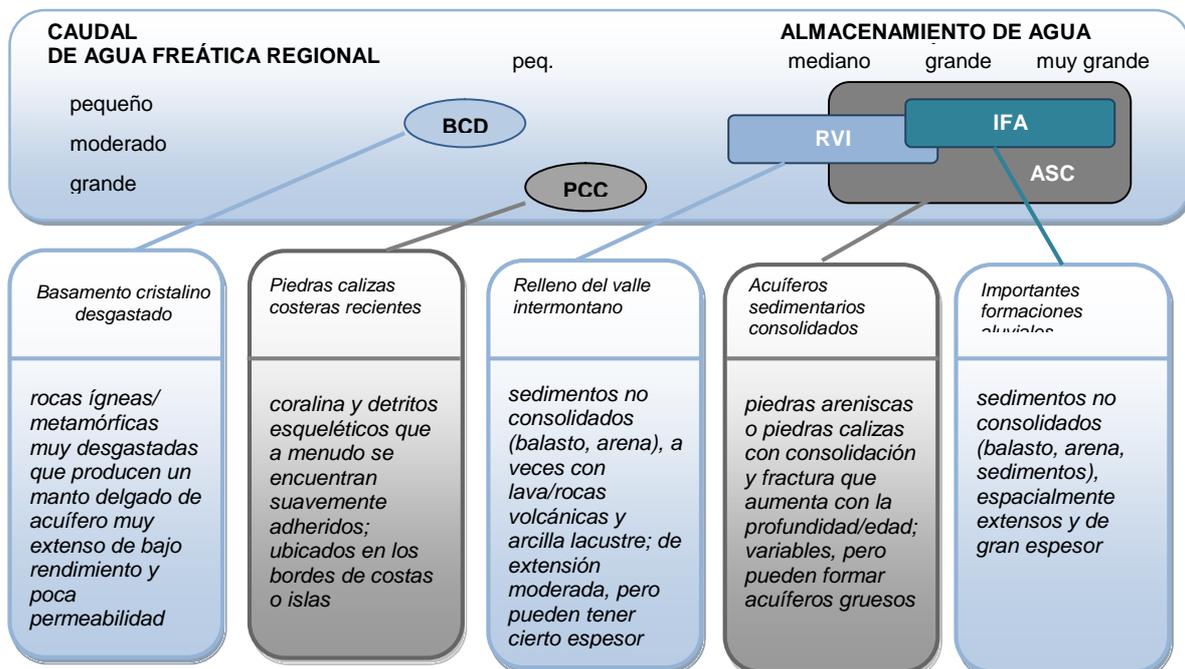
¿Cuáles son las principales diferencias entre los acuíferos pequeños y grandes?

Los acuíferos pequeños ofrecen un rendimiento para los pozos de agua, lo que es más limitado y menos predecible (Figura 2.2). Estos acuíferos incluyen rocas de basamento desgastadas (cristalinas, metamórficas y metasedimentos) y otros acuíferos locales (depósitos cuaternarios notablemente delgados y rocas volcánicas o sedimentarias consolidadas más antiguas). Ya sea que estén ubicados a lo largo de ríos o arroyos, a veces también permiten el desarrollo de suministros a través de la infiltración junto a la orilla.

En aquellos lugares donde los pueblos y las pequeñas ciudades están ubicados sobre grandes acuíferos que contienen agua freática de alta calidad en forma natural, el desarrollo del suministro de agua por lo general no encuentra restricciones significativas en términos de acceso a las aguas freáticas y a su sostenibilidad, a menos que el mismo acuífero se desarrolle intensivamente para el riego agrícola. Si bien


Proporcione un ejemplo de cómo trata a los acuíferos de bajo rendimiento en su comunidad.

Figura 2.1: Resumen de las propiedades clave de los tipos de acuíferos que se producen con mayor frecuencia. (Nota informativa 2 de GW-Mate)



los asuntos principales a confrontar están restringidos a la operación y el mantenimiento de los pozos de agua, pueden perjudicar seriamente la confiabilidad y la sostenibilidad de las aguas freáticas.

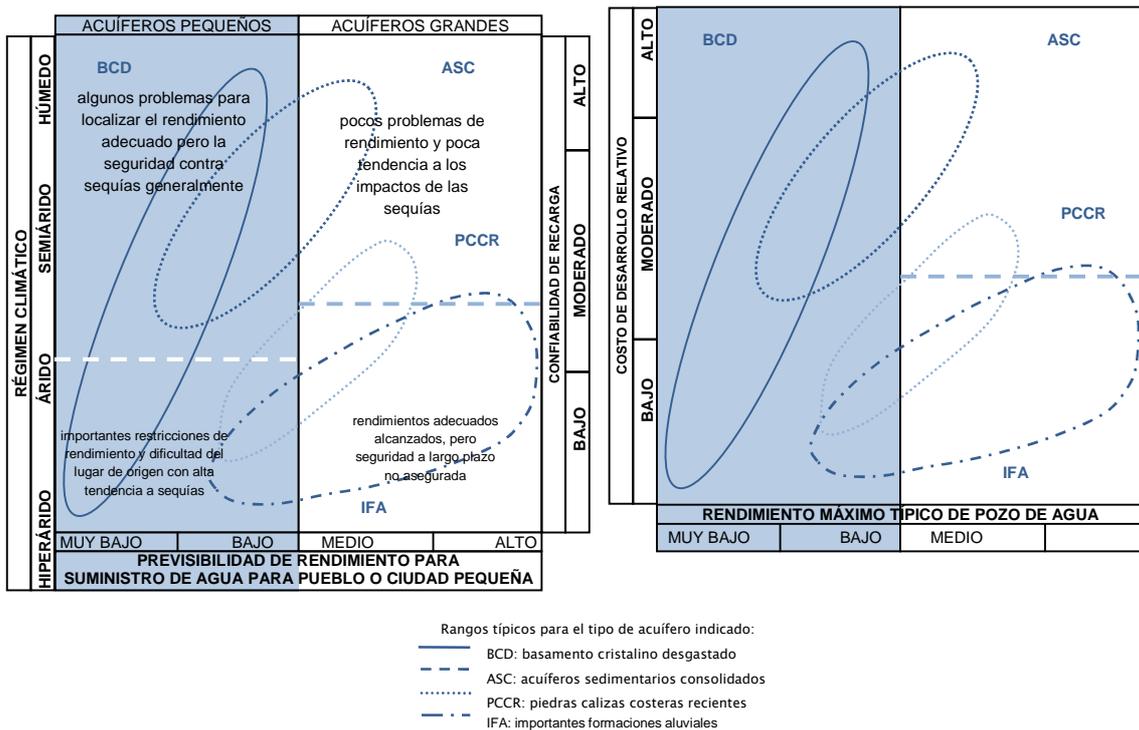
En el territorio en que subyacen sólo acuíferos pequeños, la disponibilidad de aguas freáticas de cantidad adecuada y calidad aceptable constituye el problema principal, aunque pueden surgir problemas de confiabilidad del suministro y sostenibilidad del recurso. Dichos acuíferos generalmente ofrecen la única perspectiva factible para el desarrollo de suministros hídricos rurales de bajo costo, confiables durante las sequías y de calidad aceptable, en áreas extremadamente amplias, especialmente en África subsahariana pero también en partes de Asia y Latinoamérica.

¿Cómo fluye el caudal de agua freática?

El amplio almacenamiento de muchos sistemas de agua freática (mucho mayor que el de las más grandes reservas construidas por el hombre) es su característica más distintiva. Como consecuencia, la mayor parte del agua freática se encuentra en continuo movimiento lento (Figura 2.3) desde las áreas de recarga de acuíferos naturales (desde precipitaciones excesivas hasta los requisitos de la planta) hasta las áreas de descarga de los acuíferos (desde manantiales y filtraciones hasta cursos de agua, pantanos y zonas costeras). El caudal de agua freática a través de un acuífero está regido por la ley de Darcy (Cuadro 2.2).

Cuando los acuíferos se sumergen debajo de estratos mucho menos permeables, el agua

Figura 2.2: Variación de la seguridad contra sequías y la previsibilidad del rendimiento de los pozos de agua con el tipo de acuífero y el régimen climático (Nota informativa 13 de GW-Mate)



3. Caudal de agua freática

El caudal de agua freática está en constante movimiento, aunque la tasa a la que se mueve es generalmente mucho más lenta que el caudal de la superficie.

freática queda confinada (en distintos grados) por las capas suprayacentes. Esto ocasiona un grado correspondiente de aislamiento de la superficie de tierra inmediatamente suprayacente, pero no del sistema de agua freática como un todo. El descenso del agua inducido por el bombeo de la sección confinada de un acuífero a menudo se propaga rápidamente a la sección no confinada. En varios entornos hidrogeológicos,

las capas de los acuíferos confinados profundos y no confinados de poca profundidad pueden superponerse (Figura 2.3) con pérdidas hacia arriba o hacia abajo entre las capas, de acuerdo con las condiciones locales.

Cuadro 2.2: Ley de Darcy

La ley de Darcy expresa la tasa a la que se mueve el agua freática a través de la zona saturada, que depende de la permeabilidad de la roca y el gradiente hidráulico.

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



El almacenamiento del acuífero transforma los regímenes de recarga natural altamente variables en regímenes de descarga natural más estables. También genera tiempos de residencia del agua freática que, por lo general, se contabilizaron en décadas o siglos (Figura 2.3) y a veces en milenios, con grandes volúmenes de la denominada “agua freática fósil” (una reliquia de episodios pasados de diferentes climas) que aún se mantienen almacenados. En el Cuadro 2.3 se exponen algunos impactos del tiempo de residencia en términos de confiabilidad y carga química del agua.

Cuadro 2.3: Impactos del tiempo de residencia del agua freática

- El agua freática es una fuente confiable en períodos de sequía o de escasez.
- Los acuíferos almacenan un gran volumen de agua freática disponible en un período a largo plazo.
- Hay interacciones con materiales geológicos que le proporcionan al agua freática un contenido químico específico.
- En acuíferos no confinados, por lo general, en acuíferos de poca profundidad, el tiempo de residencia es más breve, lo que puede generar un bajo contenido químico.

Por qué importa el cálculo de la recarga.

Las tasas actuales de la recarga de los acuíferos son una consideración fundamental en la sostenibilidad del desarrollo de las aguas freáticas. Además, la comprensión de los mecanismos de recarga de los acuíferos y sus

conexiones 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) está sujeta a dificultades metodológicas significativas, deficiencias en los datos y las incertidumbres resultantes debido a los siguientes factores:

- ③ la amplia variabilidad espacial y temporal de los eventos de precipitaciones y escurrimiento, y;
- ③ la variación lateral generalizada en los perfiles de suelo y las condiciones hidrogeológicas.

No obstante, para fines más prácticos, es suficiente con realizar cálculos aproximados (Figura 2.4) y pulirlos más tarde a través del control y el análisis de la respuesta del acuífero a la extracción a mediano plazo.

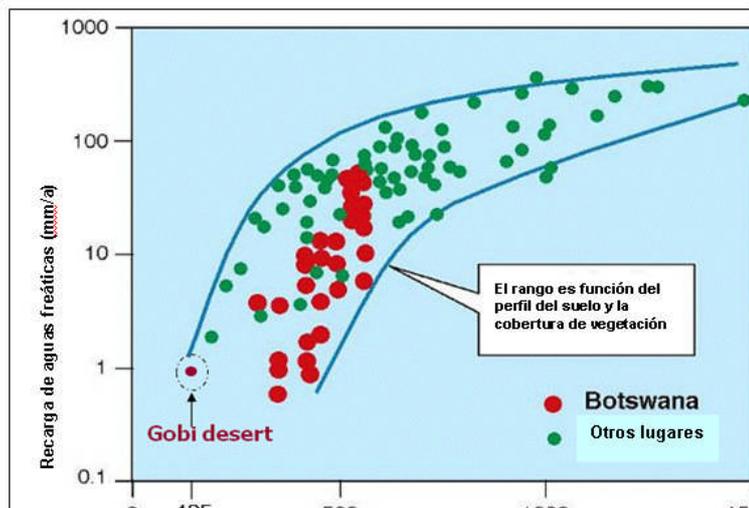
Se puede realizar una cantidad de observaciones genéricas sobre los procesos de recarga de los acuíferos:

- ③ Las áreas de aridez creciente tendrán una tasa y una frecuencia de recarga mucho más bajas para el nivel freático.
- ③ La recarga indirecta del escurrimiento superficial y la recarga artificial incidental que surge de la actividad humana se está haciendo cada vez más significativa que la recarga directa de las precipitaciones.

Las tasas de recarga varían con:

- ③ El desvío o control del caudal del río.
- ③ Las modificaciones en el riego con agua superficial.
- ③ Los cambios en la vegetación natural o el tipo de cultivo en las áreas de recarga.
- ③ La pérdida de las redes de suministro de agua urbanas y la percolación de las aguas residuales in situ.

Figura 2.4: Cálculo de la tasa de recarga en comparación con las precipitaciones anuales (comunicado personal A. Tuinhof)



③ La reducción del nivel freático, etc.

En acuíferos fracturados, puede producirse un caudal preferencial mucho más rápido para el nivel freático, especialmente después de precipitaciones copiosas. Este componente del caudal puede acarrear contaminantes de la superficie del suelo de manera mucho más rápida, lo que permite poco tiempo para la atenuación o ninguno, y dichos acuíferos pueden ser altamente vulnerables a la contaminación. En áreas áridas y semiáridas, la recarga del agua freática es baja en la mayoría de los casos. El cálculo a partir de métodos clásicos es problemático; las técnicas isotópicas probablemente sean más eficientes.

¿Es necesario conocer la descarga?

El agua se agrega constantemente al sistema por la recarga de las precipitaciones y, al mismo tiempo, abandona el sistema como descarga al agua superficial y como evapotranspiración. En escalas de tiempo relativamente cortas (de días a meses), los flujos de entrada y salida pueden fluctuar significativamente, pero en escalas de tiempo más prolongadas (de años a décadas), el sistema de agua freática debería estar en equilibrio. Esto significa que, promediado sobre un período de tiempo más prolongado, el volumen del agua que ingresa (recarga) al sistema debe ser aproximadamente igual al volumen que abandona (se descarga de) el sistema.

El agua freática puede descargar en manantiales, hábitats de pantanos o cuerpos de aguas superficiales, como por ejemplo, arroyos, lagos, mar, etc. El agua freática es un importante contribuyente para el caudal en muchos arroyos y ríos, y tiene una fuerte influencia en los hábitats de los ríos y pantanos para las plantas y los animales. Es posible que también obtenga agua de los cuerpos de aguas superficiales, de modo que la interacción con estos cuerpos es un asunto fundamental en la gestión de las aguas freáticas. El diagnóstico de la relación entre el agua superficial y el acuífero subyacente es un importante componente de la caracterización del sistema de agua freática.

Es importante distinguir entre:



Proporcione otros ejemplos de casos en los que la tasa de recarga se vea afectada por actividades humanas.

③ Los ríos y arroyos de los que depende un acuífero como una fuente significativa de su recarga general.

③ Los ríos que a su vez dependen significativamente de la descarga del acuífero para mantener el caudal en clima seco.

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

El bombeo de agua freática para diferentes usos afectará las entradas y salidas en este sistema. El sistema de agua freática se ajustará gradualmente a un nuevo equilibrio con niveles modificados de agua freática (o superficies piezométricas) y diferentes descargas en límites internos y externos. Siempre y cuando estos cambios sean relativamente pequeños, sus impactos en el medio ambiente y en los usos del agua freática establecidos serán generalmente aceptables. Sin embargo, si los cambios son tan grandes que los niveles del agua freática y las características del caudal sufren alteraciones sustanciales en relación con la situación natural, las consecuencias pueden ser inaceptables. La sostenibilidad de las aguas freáticas requiere una mejor comprensión de la relación y la importancia de la cantidad y calidad del agua freática para el mantenimiento de los cuerpos de aguas superficiales y los hábitats para la vida silvestre.

Por qué es necesario un equilibrio del agua.

Cada sistema de agua freática es único en tanto que la fuente y la cantidad de agua que fluye a través del sistema dependen de factores externos como la tasa de precipitaciones, la ubicación de los arroyos y otros cuerpos de aguas superficiales, y la tasa de evapotranspiración. Sin embargo, el único factor común de todos los sistemas de agua freática 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 en el almacenamiento se denomina equilibrio del agua.

Las extracciones de agua freática (en su sentido amplio) cambian los patrones del caudal natural, y estos cambios se deben considerar en el cálculo del equilibrio del agua. Ya que toda el agua que se utiliza debe provenir de algún lado, las actividades humanas afectan la cantidad y la tasa de movimiento del agua en el sistema, que ingresa y abandona el sistema. Para una gestión sostenible de las aguas freáticas, debe establecerse el balance del agua para un sistema de unidad determinado (cuenca hidrográfica/de río, cuenca de aguas freáticas o unidad de acuífero) en un período estipulado. Donde sea posible, debe alcanzarse el equilibrio del agua para el sistema del acuífero como una única unidad hidrográfica, de manera de tener en cuenta que es una parte integral de toda la cuenca hidrológica/de agua freática.

Si el equilibrio se ve perturbado por un creciente bombeo de agua freática, el sistema gradualmente se ajustará a un nuevo equilibrio, lo que requiere:

- ③ Flujos de entrada incrementados (por ejemplo, por recarga artificial).
- ③ Flujos de salida reducidos en partes del sistema.
- ③ O una combinación de los dos.

El nuevo equilibrio de flujo probablemente esté acompañado por cambios en los niveles/presiones del agua freática al menos en partes del sistema. Comprender el equilibrio del agua y cómo varía en respuesta a las actividades humanas es un aspecto importante de la caracterización del sistema de agua freática.

El equilibrio del agua proporciona un medio para probar, confirmar o refinar nuestra comprensión hidrológica del sistema. Sin embargo, no puede proporcionar una determinación y predicción definitivas de las consecuencias de los impactos de extracción de agua freática. El enfoque de modelo puede ser una herramienta útil para refinar nuestra comprensión del sistema.

4. Problemas de calidad del agua freática que surgen naturalmente

¿Cuáles son los riesgos naturales de la calidad del agua?

El agua freática se mineraliza debido a las interacciones entre la piedra y el agua que dan como resultado la disolución de ciertos minerales y elementos químicos que permanecen en solución en el agua freática. El grado de disolución depende del tiempo en que la roca y el agua están en contacto, la longitud del trayecto del caudal a través de la roca, la solubilidad de los materiales rocosos y la cantidad de dilución por el agua dulce de recarga. Toda el agua freática se mineraliza en menor o mayor grado y, en ciertas circunstancias y entornos, algunos de estos solutos presentes naturalmente pueden ser tóxicos. Ciertos elementos presentes naturalmente (As, F, Mn) plantean problemas conocidos en las aguas freáticas. Otros elementos (especialmente Ni, U y Al) plantean una preocupación creciente.

Es importante para los propósitos de la gestión diferenciar los impactos humanos de los problemas que surgen naturalmente.

En los países subdesarrollados, las enfermedades patógenas provenientes del agua (origen fecal) continúan siendo el mayor problema de la calidad del agua. No obstante, los problemas surgen de la presencia natural de concentraciones elevadas de ciertos elementos traza en algunos suministros hídricos freáticos.

El origen y la presencia de estas amenazas naturales a la calidad.

Las reacciones del agua de lluvia en el perfil del suelo/roca durante la infiltración y percolación le proporcionan al agua freática su composición mineral esencial. Nueve constituyentes químicos importantes (Na, Ca, Mg, K, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃ y Si) conforman el 99% del contenido de solutos del agua freática natural. El agua freática en las áreas de recarga de las regiones húmedas probablemente sea baja en mineralización general, comparada con la de las regiones áridas o semiáridas donde la combinación de la concentración evaporativa y el movimiento más lento del agua freática puede producir concentraciones más altas.

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

- ③ El arsénico (As) es el elemento traza que actualmente provoca la mayor preocupación en el agua freática, ya que es tóxico y cancerígeno en bajas concentraciones.
- ③ El fluoruro (F) es un elemento que a veces es deficiente, pero en la provisión de agua freática, las concentraciones excesivas pueden ser un problema, en especial en climas áridos y rocas graníticas y volcánicas.
- ③ El manganeso (Mn) en aspecto soluble se produce ampliamente donde surgen condiciones de reducción del agua freática y le confiere un sabor inaceptable al agua freática.
- ③ La OMS enumera otros elementos traza

(especialmente Ni, U y Al) como posiblemente peligrosos en el agua potable.

Estrategia para minimizar los impactos negativos

Si se descubren elementos traza tóxicos excesivos en un suministro de agua freática potable, debe implementarse un plan de emergencia y debe identificarse una estrategia a largo plazo (Tabla 2.2)

Tabla 2.1: Resumen de las principales características de los elementos traza que a veces constituyen un riesgo para la salud en las aguas freáticas (Nota informativa 14 de GW-Mate)

ELEMENTO TRAZA	PAUTAS DW DE LA OMS	IMPORTANCIA PARA LA SALUD Y RESTRICCIÓN DEL USO	CONTROLES HIDROQUÍMICOS EN LA PRESENCIA	ESTADO DEL TRATAMIENTO DEL AGUA
Arsénico (As)	10 µg/l	peligro tóxico/cancerígeno, especialmente por la forma inorgánica (arsenito o arseniato) generalmente presente; así el valor guía de la OMS se redujo recientemente de 50 µg/l	liberación del complejo de la unión de óxidos de hierro en condiciones hidrogeoquímicas inusuales (altamente anóxicas) o durante la oxidación de minerales de sulfuro en condiciones hidroquímicas acídicas	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
Fluoruro (F)	1.500 µg/l (1,5 mg/l)	elemento esencial, pero rango estrecho deseable, por debajo de 500 µg/l pueden producirse caries dentales mientras que por encima de 2.000 y 5.000 µg/l pueden presentarse fluorosis dentales y esqueléticas graves	disolución de minerales que contienen fluoruro de formaciones graníticas o volcánicas en algunas condiciones hidroquímicas/hidrotermales, facilitadas por la circulación lenta	precipitaciones con yeso o combinación 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 los niveles excesivos pueden afectar las funciones neurológicas; también provoca manchas en la ropa/los utensilios y confiere un sabor metálico a niveles más bajos, 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 vuelve soluble en condiciones cada vez más anaerobias y/o acídicas	precipitación por aeración y filtración generalmente con sedimentación anterior, pero con menor dificultad operativa que la que se encuentra normalmente para el hierro soluble

Tabla 2.2: Asuntos clave en la definición de una estrategia integrada para la mitigación de un problema de elemento traza de origen natural en las aguas freáticas (Nota informativa 14 de GW-Mate)

MEDIDA	ASUNTOS A RESOLVER
A CORTO PLAZO	
Evaluación del problema	<ul style="list-style-type: none"> ● escala adecuada (local/provincial/nacional) para el estudio de calidad del agua freática ● selección de las técnicas analíticas adecuadas (kit de campo/método de laboratorio) ● iniciativa del gobierno frente a responsabilidad privada ● disponibilidad de asesoramiento de especialistas para la interpretación hidrogeoquímica ● evaluación de otros problemas posibles de la calidad del agua freática
Gestión de suministros de agua	<ul style="list-style-type: none"> ● asesoramiento sobre el buen uso (información de la comunidad/cierre o etiquetado de pozos) ● consideraciones prácticas y sociales sobre el cambio de pozos ● priorización del control analítico de campo (para confirmar los pozos seguros) ● política del control pertinente (frecuencia universal o selectiva/temporal)
Programa de salud pública	<ul style="list-style-type: none"> ● identificación del paciente (programa activo o a través de consulta médica) ● determinación de la relación entre el problema de salud y los recursos hídricos ● diagnóstico de síntomas incipientes ● tratamiento inmediato de pacientes (organización de provisión de agua embotellada)
A LARGO PLAZO	
Opción de tratamiento del agua	<ul style="list-style-type: none"> ● costo a escala de la aplicación (ciudad/pueblo/vivienda) y efectividad/sostenibilidad a escala de la operación
Suministro alternativo de agua freática	<ul style="list-style-type: none"> ● generalmente implican (a) pozos de agua con entradas (a menudo profundas) modificadas o (b) reticulación del alto rendimiento local, recursos de calidad aceptable, que deben basarse en la investigación hidrogeológica sistemática e implementarse con estándares de construcción de pozos adecuados
Suministro alternativo de agua superficial	<ul style="list-style-type: none"> ● sostenibilidad en términos de confiabilidad contra sequías y 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:

- ③ Evaluación hidrogeoquímica del acuífero a una escala apropiada.
- ③ Pautas comunitarias sobre las restricciones de uso y las ubicaciones seguras de los pozos de agua.
- ③ Programa de salud comunitaria para detectar síntomas relacionados con el agua potable.

5. Información necesaria para la gestión de las aguas freáticas

La gestión de las aguas freáticas debe basarse en una buena comprensión de las características del agua freática a escala del sistema de aguas freáticas total (o cuenca hidrográfica, si se requiere). Según la situación específica, los sistemas de agua freática pueden ser de escala relativamente pequeña, localizada (pocas hectáreas o kilómetros cuadrados) o de escala regional (hasta diez o cientos de miles de kilómetros cuadrados). Esta comprensión requiere cantidades sustanciales de datos de investigaciones y controles del agua freática, la interpretación de hidrogeólogos y, por lo general, también algunos modelos del caudal de agua freática.

La caracterización de un sistema de aguas freáticas, como base de una gestión adecuada del agua freática, requiere un conocimiento de:

- ③ El alcance (límites) del sistema del acuífero.
- ③ Las propiedades del acuífero.
- ③ Las fuentes de recarga para el sistema.
- ③ Las descargas del sistema (incluidas las extracciones de agujeros).
- ③ Los cambios de estas características con el tiempo.

La información sobre las características del sistema proviene de:

- ③ las investigaciones hidrogeológicas;
- ③ el análisis de los datos de la prueba de la bomba;
- ③ los datos sobre la hidrología del agua superficial (precipitaciones, evaporación, caudal, niveles del agua en lagos, etc);
- ③ los registros de niveles del agua freática en perforaciones; y
- ③ los registros de extracciones de agua freática.

Algunos requieren investigaciones costosas. Por lo tanto, deben tomarse decisiones sobre la importancia (económica, social, amenazada) del acuífero para justificar la exhaustividad adecuada de la investigación necesaria.

¿Dónde se encuentran los recursos de aguas freáticas?

El “punto de partida” de la gestión de las aguas freáticas es trazar un mapa de la ubicación del agua freática disponible. Un

acuífero es identificado por un subsuelo que es finito y continuo y representa una unidad hidrogeológica. Se caracteriza por sus límites geométricos (volumen) y la naturaleza de sus límites hidrogeológicos.

Los datos se resumen a través de diferentes tipos de mapas:

- ③ alcance hidrogeológico del acuífero;
- ③ profundidad del nivel freático o la superficie superior de la porción saturada de un acuífero;
- ③ límite inferior de las unidades hidrogeológicas, y;
- ③ espesor del acuífero.

¿Qué tan vulnerable es un acuífero de nivel freático?

Las características naturales intrínsecas de las capas geológicas que subyacen a un acuífero de nivel freático determinan la vulnerabilidad del agua freática a la contaminación antropogénica. Para fines de protección de las aguas freáticas, los mapas de vulnerabilidad son necesarios para evaluar la tendencia o la probabilidad de que los contaminantes alcancen una posición específica en el sistema de aguas freáticas después que se introduzcan en una ubicación por encima del acuífero más alto. Los mapas de vulnerabilidad de las aguas freáticas se desarrollaron para determinar el impacto posible de influencias antropogénicas en la calidad del agua freática.

¿Cuál es el rendimiento sostenible del acuífero?

El objetivo principal de la gestión de las aguas freáticas a través de la GIRH es proteger los recursos de la degradación de la calidad y garantizar que su uso para una variedad de fines benéficos sea sostenible. En un sentido amplio, el uso sostenible de las aguas freáticas puede definirse como el nivel de uso que no ocasiona consecuencias inaceptables a largo plazo.

A fin de satisfacer el creciente uso del agua, es responsabilidad de los administradores



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

evaluar la capacidad de las aguas freáticas de sostener la demanda actual y esperada debido al crecimiento y desarrollo de la población. La evaluación de las aguas freáticas debe llevarse a cabo de acuerdo con las restricciones clave en la planificación que varían temporal y espacialmente también. Según la situación particular, las condiciones limitantes pueden ser en términos de:

- ③ Agotamiento del almacenamiento de aguas subterráneas.
- ③ Reducción de los niveles de agua freática (o presiones).
- ③ Reducción de la descarga de agua freática (por ejemplo, de manantiales, caudal intrínseco a arroyos, de flujos de entrada a pantanos).
- ③ Deterioro de la calidad del agua.
- ③ Hundimiento de la tierra.
- ③ Otros impactos medioambientales.
- ③ Impactos socioeconómicos y restricciones políticas (política nacional sobre el desarrollo y el agua).

La evaluación de las aguas freáticas debe estar asociada con tres términos que se utilizan en un esfuerzo por cuantificar el desarrollo sostenible del agua freática:

- ③ **Rendimiento seguro:** tomado como la máxima extracción de agua freática para la que se consideran aceptables las consecuencias, por ejemplo, con respecto a los efectos específicos del bombeo, como los descensos en el nivel del agua, el caudal reducido y la degradación de la calidad del agua.
- ③ **“Explotación del agua freática”** por lo general se refiere a una reducción prolongada y progresiva en la cantidad de agua almacenada en un sistema de agua freática, como podría ocurrir, por ejemplo, en acuíferos con aguas freáticas “no renovables” en regiones áridas y semiáridas.
- ③ **“Sobreexplotación”** se refiere a las extracciones de agua freática de un acuífero a tasas que se consideran excesivas con respecto a los impactos negativos generales de la explotación del agua freática.

¿Dónde se encuentran las áreas de recarga?

La recarga de agua freática se refiere al agua que se infiltra en el suelo y alcanza el nivel freático independientemente de la geología subyacente. Debe evaluarse ya que

representa el flujo de entrada al sistema del acuífero y es un componente esencial del equilibrio del agua freática. Además, representa un indicador cualitativo de la renovabilidad de las aguas freáticas.

Un punto fundamental es determinar las áreas donde se reabastece un sistema de acuífero. De hecho, estas áreas se deben presentar conforme a reglas específicas con respecto al acceso y el uso de la tierra para la protección de las aguas freáticas y la sostenibilidad de las extracciones.

Factores como la variabilidad de las precipitaciones, los cambios climáticos, el uso de la tierra y los cambios en el uso de la tierra son componentes clave en la tasa de recarga. Una de las mejores prácticas de la gestión de las aguas freáticas consiste en revisar oportunidades posibles de recargar artificialmente el suministro de agua freática, de manera de renovar el recurso y proporcionar un almacenamiento de agua rentable para el uso futuro.

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

¿Dónde ocurre la interacción del agua freática con el agua superficial?

El agua freática y el agua superficial están, en muchos casos, conectadas desde el punto de vista hidráulico (lo que le sucede a una afecta a la otra). Sin embargo, este hecho fundamental se ha ignorado muy a menudo en consideraciones y políticas de gestión de los recursos hídricos. Por lo general, un acuífero que subyace a un sistema hidrográfico garantiza su caudal base. No obstante, este parámetro fundamental habitualmente no se evalúa de manera adecuada. El agua freática puede ser un contribuyente importante para arroyos y ríos; asimismo, el agua superficial puede ser un contribuyente importante para el agua freática. Por ejemplo, la reducción eventual en el suministro de agua superficial como resultado del desarrollo del agua freática complica la asignación del agua y la administración de los derechos del agua. Por lo tanto, la relación y la importancia de la cantidad y la calidad del agua freática para la preservación de hábitats para la fauna silvestre, arroyos, lagos y ríos saludables, así como la industria pesquera son asuntos

fundamentales para la gestión del sistema de agua freática.

Se puede proporcionar información de gestión útil a través de mapas de las áreas de alto riesgo donde la explotación extensiva del agua freática no debe considerarse sin estudios adicionales para determinar el impacto posible en arroyos, pantanos y otros hábitats de ecosistemas en la región.

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

A los fines de la gestión de los recursos hídricos, es fundamental contar con las tendencias de los cambios relacionados con las aguas freáticas. Es necesario comprender los cambios (pasados, presentes y esperados) de las características del sistema del acuífero tales como recarga, almacenamiento, dirección del caudal y calidad, de acuerdo con los impactos originados por el uso de la tierra, los cambios en el uso de la tierra, la variabilidad climática y el uso del agua.

Se deben proporcionar datos exhaustivos, consistentes y defendibles desde los registros de control (Módulo 9) para comprender mejor y caracterizar las condiciones existentes, identificar problemas posibles y existentes, establecer prioridades, así como desarrollar políticas y estrategias viables para los recursos hídricos.

¿Existen problemas en materia de calidad natural?

La calidad del agua almacenada en acuíferos varía, según su origen, ubicación y exposición a fuentes de contaminación posibles. Dicha contaminación no siempre es un resultado de actividades humanas, sino que puede ser de origen natural. Es de fundamental importancia que la provisión del suministro de agua freática ubique áreas y niveles (verticales) en los que se presentan amenazas naturales. El primer paso es identificar los entornos geológicos que son posibles portadores de agua freática afectada.

Se debe proporcionar información adecuada para los administradores del agua freática en términos de mapas que muestren la ocurrencia espacial y vertical de la concentración de agua freática para la detección de elementos perjudiciales.

6. Resumen: ¿Por qué debemos conocer la correcta gestión de las aguas freáticas?

A continuación se resumen los aspectos clave de la caracterización de los sistemas de acuíferos que deben entender los administradores para la gestión de las aguas freáticas:

Almacenamiento: la relación entre el tipo de acuífero y el volumen posible de agua en almacenamiento es un aspecto fundamental y clave relacionado con la naturaleza del sistema del acuífero, y los acuíferos se caracterizaron en el módulo con respecto a su función de almacenamiento. Este componente de almacenamiento también está necesariamente relacionado con la escala del sistema del caudal de agua freática. Obviamente, en aquellos lugares donde los sistemas de caudal tienen una interconexión hidráulica en áreas muy grandes, la gestión debe considerar las extracciones/uso del acuífero en toda el área del acuífero; en cambio, es posible que los sistemas de agua freática locales con sistemas de caudal menores no puedan garantizar el costo de gestión, ya que el impacto estará limitado y, en cierto grado, se autorregulará.

Relación entre el tipo de acuífero, el clima y las opciones de suministro de agua: el módulo analiza qué posibilidades de suministro de agua existen para los diferentes acuíferos en diferentes condiciones climáticas y cuáles son los riesgos y costos de desarrollar agua freática en estas condiciones variables. La sostenibilidad de los desarrollos de agua freática es una función del tipo de sistema de acuífero, el clima y la tasa de recarga, y el tipo y la escala de uso de agua freática.

Caudal de agua freática: el impacto del caudal de agua freática, según el tipo y el alcance de la unidad hidrogeológica, se analiza conjuntamente con las consecuencias de la gestión. Se destaca el efecto moderador del caudal de agua freática comparado con el caudal de agua superficial, debido a la larga duración del caudal de agua freática, lo que da origen a un recurso hídrico que es más resistente a las sequías que el agua superficial. Se explica el impacto hidroquímico de los prolongados tiempos de residencia del

agua freática y se analizan las consecuencias en términos de la calidad del agua natural.

Recarga y descarga de aguas freáticas: se analizan la importancia y la complejidad de los procesos de recarga de acuíferos y se presenta la dificultad de evaluar la recarga de agua freática como un importante aspecto de la gestión. Se destaca la identificación de las áreas de recarga y la importancia de proteger dichas áreas. Se analizan los factores que afectan la recarga de las aguas freáticas y las estrategias para mejorar y proteger la recarga. Se analiza la descarga de agua freática así como su conexión con los ecosistemas que dependen del agua freática. La relación entre la extracción, la longitud del trayecto del caudal y la descarga de agua freática son factores clave para la gestión de pantanos, manantiales y otras zonas de descarga de agua freática.

El equilibrio del agua: los cálculos del equilibrio del agua se presentan como una herramienta vital para la gestión de los acuíferos y en particular para la gestión conjunta de agua superficial y subterránea. Todos los flujos de entrada y salida naturales así como las extracciones por bomba y la recarga antropogénica por filtración e inyección en pozo se destacan como componentes del presupuesto del agua que debe cuantificarse para la gestión efectiva e integrada de las aguas freáticas.

Problemas de la calidad natural del agua: se analizan los problemas de la calidad natural del agua freática y se identifican los más comunes. Se presentan las estrategias de mitigación para tratar con dichos problemas naturales, incluida la combinación de agua y la reserva de diferentes calidades de agua para distintos usos.

Ejercicio 1: caracterización de los sistemas hídricos freáticos

Objetivo: valorar la relación entre la comprensión de los sistemas hídricos freáticos y las estrategias para la gestión

Duración: 30 minutos

Actividad: en 4 grupos, los participantes deben analizar la manera en que la comprensión de las características específicas de los acuíferos puede mejorar la gestión de las aguas freáticas.

Informe: cada grupo debe presentar una tabla con las características de acuíferos identificadas y explicar cómo cada una mejora la gestión de las aguas freáticas.

Moderador: debe señalar las características que por lo general no son conocidas y estimular el análisis en función de las experiencias de los participantes sobre cómo se toman las decisiones de la gestión sin la información necesaria.

Ejercicio 2: gestión integrada de los recursos hídricos

Objetivo: valorar la relación entre la gestión del agua superficial y subterránea.

Duración: 60 minutos

Actividad: en 3 grupos: analizar la interacción entre el agua superficial y subterránea y la relevancia para la gestión de la contaminación y la asignación del agua. Hacer recomendaciones sobre cómo deberían gestionarse de manera conjunta el agua superficial y subterránea.

Informe: cada grupo debe presentar sus recomendaciones seguidas de un análisis general.

Ejercicio 3: gestión de las aguas freáticas

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. Les hacen preguntas a los hidrogeólogos acerca de las aguas freáticas disponibles.

Los otros grupos de participantes (los hidrogeólogos) explican cómo los diferentes sistemas de acuíferos pueden proporcionar el agua requerida al explicar los beneficios y riesgos clave. Se asignan diferentes entornos de acuíferos a cada grupo de "hidrogeólogos".

Actividad: el objetivo del diálogo entre los "administradores" y los "hidrogeólogos" es garantizar que ambas partes se comprendan mutuamente de manera adecuada y que los administradores obtengan información adecuada para gestionar los recursos hídricos.

Referencias y lecturas 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 las aguas freáticas en práctica

Objetivos de aprendizaje:

- ③ Descubrir la relación entre la presión en el sistema de aguas freáticas y la inversión en la gestión.
- ③ Valorar la relación entre el agua superficial y subterránea, y la manera en que pueden gestionarse conjuntamente.
- ③ Comprender el rol de las aguas freáticas en la planificación de la gestión de los recursos hídricos a nivel nacional y de la cuenca.
- ③ Valorar la importancia de una buena gestión de las aguas freáticas para la protección de los ecosistemas.

1. Marco de los sistemas de caudal de agua freática

A diferencia del agua superficial, el agua freática se produce en cuencas debajo de la tierra de estructura controlada (Módulo 2). Los límites físicos de la cuenca de agua freática están definidos por características geológicas específicas, patrones/estructuras (fallas, fracturas, afloramiento de roca impermeable, 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 de agua freática puede consistir en una cantidad de subcuencas conectadas desde el punto de vista hidráulico. Se requieren múltiples herramientas de investigación para delinear el límite de una cuenca de agua freática.

El agua freática se mueve por trayectos de caudal de diferentes longitudes para transmitir el agua de áreas de recarga a áreas de descarga. Por consiguiente, el término "sistema de caudal" ha emergido al definir los límites hidráulicos para las unidades de gestión de las aguas freáticas.

Según la conectividad hidráulica de diferentes partes/unidades de su sistema de acuífero, una cuenca de agua freática generalmente se gestiona dentro de un **marco de sistema de caudal** para considerar los efectos río arriba y río abajo. Un **sistema de caudal de agua**

freática está definido por una zona de recarga y una zona de descarga, y se distingue de otros sistemas de caudal de agua freática por las divisiones del agua freática. En las zonas de recarga hay un componente del caudal de agua freática que es decreciente. En las zonas de descarga, la dirección vertical del caudal de agua freática es creciente.

Se pueden considerar diferentes escalas de la gestión de aguas freáticas según los límites del sistema de caudal. Los sistemas de caudal de agua freática pueden funcionar en una de tres escalas típicas y pueden superponerse (Figura 3.1). En los sistemas de caudal local, los trayectos del caudal de agua freática son relativamente cortos (<5 km), donde la descarga se produce habitualmente en las tierras bajas adyacentes a la zona de recarga más elevada. Los sistemas de caudal regional más profundos tienen trayectos de caudal mucho más prolongados donde 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 los sistemas de caudal de agua freática. **Los sistemas de caudal local** predominan en las áreas de relieve topográfico pronunciado, mientras que los sistemas de caudal **regional** se desarrollan en paisajes horizontales. Dado que los sistemas de caudal local son los menos profundos y los más dinámicos, suelen tener la mayor interacción con las características del agua superficial. Sin embargo, en las tierras bajas más sometidas de las captaciones, la descarga de sistemas de caudal de escala regional a **intermedia** 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, existe la necesidad de identificar el entorno hidrogeológico general en la cuenca porque la hidrogeología puede cambiar en la captación y puede haber muchos sistemas de caudal de agua freática desarrollados que tengan el potencial para interactuar con el río, ya sea directa o indirectamente.

2. Enfoques hacia la práctica de gestión y gobernabilidad de las aguas freáticas

Los enfoques prácticos en la gestión de las aguas freáticas se han definido como aquellos que pretenden/buscan: (Nota informativa 0 de GW-Mate)

1. mantener el equilibrio razonable entre los costos y los beneficios de las actividades y las intervenciones de gestión, y así
2. tener en cuenta la susceptibilidad a la degradación del sistema hidrogeológico involucrado y los intereses legítimos de los

usuarios del agua, que incluyen ecosistemas y aquellos que dependen del caudal intrínseco río abajo.

3. establecer intervenciones de gestión posibles en el contexto de la evolución normal del desarrollo de agua freática, consultar la Figura 3.2.

Se pueden identificar niveles del desarrollo de aguas subterráneas, al tener en cuenta la susceptibilidad a la degradación del sistema hidrogeológico involucrado y los intereses legítimos de los usuarios del agua. En la situación de extracción excesiva e insostenible (Figura 3.2: 3A: Desarrollo inestable), que ocurre con gran frecuencia, la tasa de extracción total (y, en general, la cantidad de

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

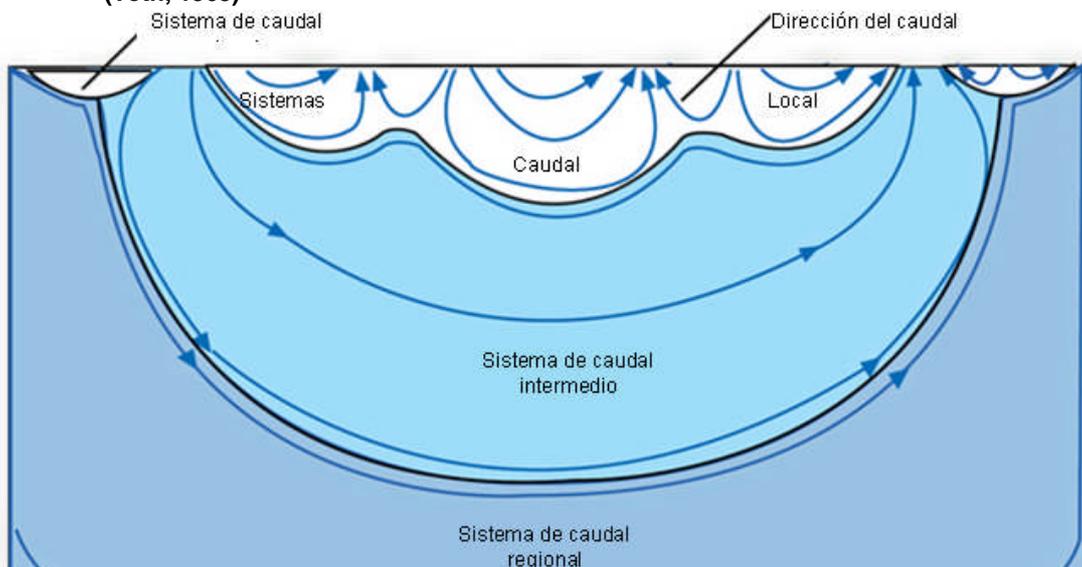
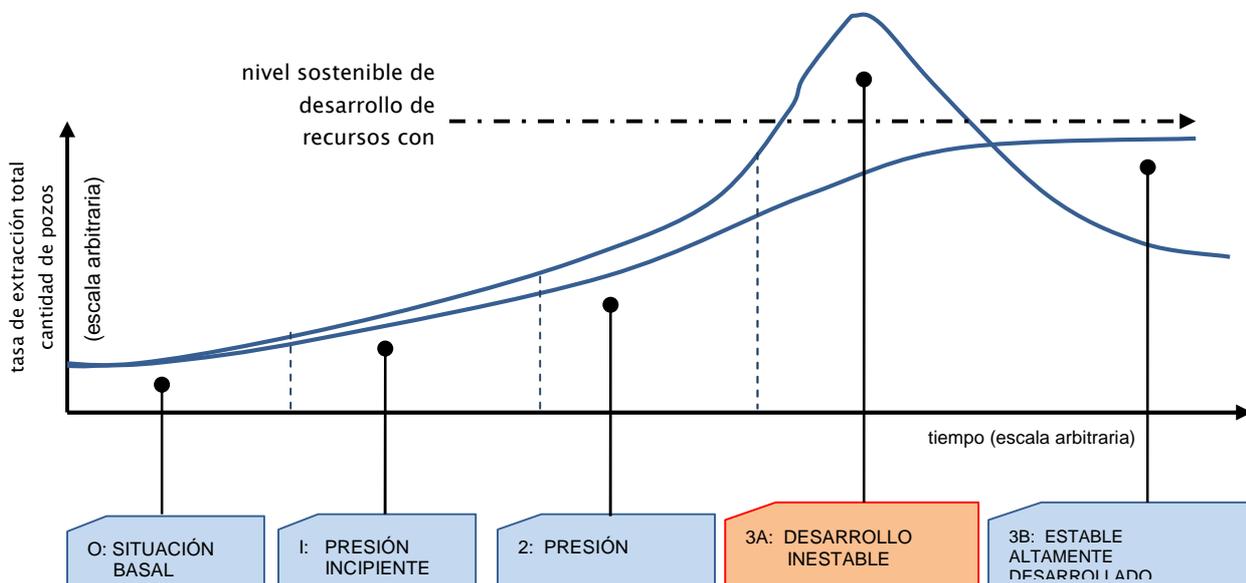


Figura 3.2: Etapas del desarrollo del agua freática en los principales acuíferos



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

Los enfoques preventivos probablemente sean más rentables.

Tabla 3.1: Niveles de desarrollo de aguas subterráneas e intervención de gestión requerida

	Etapas de desarrollo	Descripción	Intervención de gestión requerida
Nivel 0:	Situación basal	La disponibilidad y accesibilidad del agua freática de calidad adecuada excede en gran medida a la pequeña demanda dispersa.	El registro de pozos de extracción y manantiales capturados, junto con mapas de presencia de los recursos utilizables.
Nivel 1:	Presión incipiente	Crecimiento del bombeo del acuífero, pero sólo surgen pocos conflictos locales entre los extractores vecinos.	Aplicar herramientas de gestión simples (por ejemplo, separación adecuada entre pozos de acuerdo con las propiedades del acuífero).
Nivel 2:	Presión significativa	La extracción se expande rápidamente con impactos en el régimen natural y fuerte dependencia de los recursos de parte de varios grupos de interés.	Marco regulador, basado en la evaluación exhaustiva de los recursos con valoración crítica de los vínculos de los acuíferos.
Nivel 3A:	Desarrollo inestable	Extracción excesiva descontrolada con deterioro irreversible del acuífero y conflicto entre los grupos de interés.	Marco regulador con gestión de la demanda y/o recarga artificial necesaria e inmediata.
Nivel 3B:	Estable altamente desarrollado	Alto nivel de extracción, pero con equilibrio entre los intereses irreconciliables de los grupos de interés y las necesidades de los ecosistemas.	Gestión integrada de los recursos con alto nivel de autorregulación del usuario, guiada por el modelo y el control del acuífero.

La Tabla 3.1 resume las intervenciones de gestión necesarias para las cinco etapas del desarrollo de recursos que se muestran en la Fig. 3.2.

La gestión integral de las aguas freáticas puede ser prematura para países cuya principal preocupación es la construcción de infraestructura mínima de suministro de agua freática para satisfacer las necesidades humanas básicas. Enfoques prácticos recomendados 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 del desarrollo de agua freática. Si bien se aceptan como un enfoque práctico para implementar la gestión integrada de los recursos hídricos, no deben fomentar un enfoque de gestión meramente reactivo.

3. Funciones de gestión de las aguas freáticas

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

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

La Tabla 3.2 ilustra la aplicación de los sistemas de gestión de acuerdo con el nivel de desarrollo y la presión hidráulica del acuífero.

Tabla 3.2: Niveles de intervenciones y funciones de gestión de las aguas freáticas necesarias para una etapa determinada del desarrollo de recursos

Gestión de las aguas freáticas	Nivel de desarrollo de la función correspondiente (de acuerdo con la etapa de presión hidráulica)			
	Situación basal	Un poco de presión	Presión significativa	Desarrollo inestable
Función de gestión				
Asignación de recursos	Restricciones de asignación limitadas	Competencia entre los usuarios	Prioridades definidas para uso extractivo	Asignación equitativa de usos extractivos y valor in situ
Control de la contaminación	Pocos controles sobre el uso de la tierra y la eliminación de desechos	Zonificación de la superficie terrestre, pero sin controles proactivos	Control sobre nueva fuente fija de contaminación y/o ubicación de nuevos pozos en zonas seguras	Control de todos los puntos y fuentes difusas de contaminación; 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 de recursos	Conocimiento básico del acuífero	Modelo conceptual basado en datos de campo	Modelos numéricos operacionales con simulación de diferentes escenarios	Modelos vinculados con la ayuda para la toma de decisiones y utilizados para la planificación y la gestión
Evaluación de la calidad	No se experimentaron restricciones en la calidad.	La variabilidad de la calidad es un problema en la asignación	Procesos de calidad del agua comprendidos	Calidad integrada en planes de asignación
Redes de control de acuíferos	Ningún programa de control regular	Control del proyecto, intercambio ad hoc de datos	Rutina de control establecida	Programas de control utilizados para las decisiones de gestión
Disposiciones institucionales				
Derechos del agua	Derechos consuetudinarios del agua	Clarificación local ocasional de los derechos del agua (a través de casos en tribunales)	Reconocimiento de que los cambios societarios anulan los derechos consuetudinarios del agua	Derecho dinámico basado en planes de gestión
Disposición reguladora	Regulación societaria únicamente	Regulación restringida (por ejemplo, autorización de nuevos pozos, restricciones en la perforación)	Regulación y aplicación activas de parte de una agencia específica	Facilitación y control de la autorregulación de los grupos de interés
Legislación sobre el agua	Ninguna legislación sobre el agua	Preparación de la ley de aguas freáticas analizada	Disposición legal para la organización de los usuarios de agua freática	Marco legal completo para la gestión del acuífero
Participación de los grupos de interés	Poca interacción entre el ente regulador y los usuarios del agua	Participación reactiva y desarrollo de organizaciones de usuarios	Organizaciones de grupos de interés adecuadas para la estructura de la gestión (por ejemplo, consejos de acuíferos)	Los grupos de interés y los entes reguladores comparten la responsabilidad de la gestión de los acuíferos

4. Incorporación de la gestión de las aguas freáticas en las estrategias de la GIRH

Las aguas freáticas son un componente de las estrategias de la GIRH, aunque a menudo se descuidan. Como se explica en el Módulo 1, las tres E de la GIRH (Eficiencia económica, sostenibilidad del Entorno y Equidad social) son los conductores de la reforma del sector relacionado con el agua, incluida el agua freática.

Las estrategias de la GIRH habitualmente consideran 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 se enfocará en opciones de políticas, procesos de planificación de la GIRH a nivel nacional, planes de la cuenca hidrográfica, acuíferos transfronterizos y la dimensión del ecosistema de la gestión integrada de los recursos hídricos.

4.1 Opciones clave de la política

La política con respecto a la gestión de las aguas freáticas no debe separarse de la de otros recursos hídricos, aunque puede haber algunos elementos de la política que sean específicos para el contexto del agua freática.

- ③ Un enfoque integrado para la gestión del agua (subterránea) debe establecer objetivos para:
 - equilibrar las demandas crecientes de recursos con las necesidades de los ecosistemas acuáticos o terrestres y el caudal intrínseco en tramos río arriba según sea necesario.
 - tener en cuenta las relaciones de doble sentido entre las políticas macroeconómicas, los objetivos sociales y ambientales más amplios, y el desarrollo, la gestión y el uso del agua (subterránea).
- ③ Considerar la integración **de diferentes sectores** en el *desarrollo de políticas*. Esto ayuda a aplicar las decisiones

según las prioridades, por ejemplo, el suministro básico de agua potable. La coordinación entre diferentes sectores permite la representación de los intereses del agua (subterránea) en sectores no relacionados con el agua como la gestión del uso de la tierra. Además, poner en efecto la relación entre los permisos de extracción de agua y los controles de descarga de aguas residuales.

- ③ Considerar el **valor del agua** en todos sus usos para respaldar el uso del agua (subterránea) eficiente, equitativo y sostenible, así como su relación con la extracción de agua superficial, donde corresponda.

- ③ Se debe prestar especial atención al delineamiento de los **límites de la gestión** del agua (subterránea) que concilian el entorno hidrogeológico, los límites políticos/administrativos, las estructuras/sistemas de la gestión de la cuenca hidrográfica, etc., y los problemas/las necesidades de la gestión de recursos (Módulo 1). **Los objetivos de gestión**, así como el control y el informe, operan a nivel de la captación. Las unidades de gestión de los recursos hídricos (tanto agua superficial como subterránea) suelen estar a esta escala, de modo que las propiedades de conectividad deben agregarse a este nivel para incorporarse en los planes de gestión de los recursos hídricos. De manera similar, los objetivos de calidad del agua (tales como objetivos de salinidad al final del valle) también operan en el contexto de captación.

- ③ Se deben tratar de manera adecuada la descentralización, la privatización y el rol del gobierno.

- ③ Crear conciencia en los **grupos de interés** (ascendente) y proporcionar un entorno legal y económico favorable (descendente) para fortalecer la gobernabilidad del agua (subterránea).



③ Las medidas orientadas a la demanda deben estar involucradas equitativamente en las estrategias técnicas para la gestión del agua (subterránea) en entornos urbanos y rurales. El Cuadro 3.1 presenta ejemplos típicos de medidas de gestión orientada a la demanda para el riego y los usos del agua urbana:

de acuerdo con sus características hidrogeológicas y problemas de gestión, y se deben identificar las zonas de conflicto. Este proceso se puede refinar con comentarios del nivel de acuífero local y facilitará la evaluación de las necesidades de gestión de las aguas freáticas a nivel nacional.

③ Asuntos como la modificación de la

Cuadro 3.1. Estrategias técnicas para conformar situaciones de explotación excesiva e inestable de las aguas freáticas

Nivel de acción	Intervenciones de gestión orientadas a la demanda	Medidas de ingeniería orientadas al suministro
Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ● Ahorro real de agua asegurado en parte por: <ul style="list-style-type: none"> - Las tuberías de distribución de agua de baja presión. - La promoción del cambio de cultivo y/o reducción del área de riego. ● Conservación del agua agronómica 	<ul style="list-style-type: none"> ● Técnicas locales de recolección de agua ● Estructuras adecuadas de mejora de recarga (ya sea por medio de la captura de escurrimiento superficial local o a veces por la transferencia de agua superficial)
Principales centros urbanos	<ul style="list-style-type: none"> ● Ahorro real de agua a veces asegurado por: <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de las pérdidas de la red de suministro principal y/o del uso del agua - Reducción del consumo suntuario (riego del jardín, lavado de automóvil) 	<ul style="list-style-type: none"> ● El reciclado y la reutilización del agua residual urbana (incluida la recarga controlada y/o incidental del acuífero por el saneamiento in situ y el alcantarillado de la red de suministro principal) (Nota informativa 12)

4.2 Las aguas freáticas en la planificación de la GIRH nacional

Los planes independientes de la gestión del agua freática probablemente sólo serán necesarios para acuíferos grandes e importantes desde el punto de vista económico. Incluso estos deben considerarse de manera conjunta con la planificación del agua superficial para elaborar un plan de la GIRH nacional y planes de la cuenca.

③ El componente del agua freática de los planes de la GIRH nacional puede desarrollarse 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 nacionales, se deben clasificar los sistemas de agua freática

política de producción de alimentos a nivel nacional y la reorientación de la perforación de pozos o subsidios de bombeo obviamente no pueden manejarse al nivel de gestión local de los recursos hídricos y requieren que se tomen decisiones en el ámbito nacional.

③ A nivel nacional, se debe poner énfasis en:

- la valoración del marco legal e institucional;
- la evaluación de la capacidad técnica e institucional disponible;
- la evaluación de la voluntad política y los impedimentos para avanzar;
- la preparación de un “mapa de ruta orientado a la acción”, que incluya la creación de capacidades donde corresponda.

③ Se debe elaborar un plan de desarrollo nacional de los recursos hídricos con todos los grupos de interés como un

componente del plan de la GIRH nacional y tratar los asuntos establecidos en la Tabla 1.2, Módulo 1. Las siguientes actividades son relevantes para las aguas freáticas:

- las medidas agronómicas técnicas y de gestión se toman para mejorar la **eficiencia y el resultado del uso de riego en el ahorro real del agua**;
- el desarrollo del riego y suministro de agua municipal considera la sostenibilidad del recurso como un asunto principal al tomar medidas para **proteger y conservar el agua freática**;
- el uso del **agua residual urbana** como un recurso adicional para la agricultura de riego, si bien también se debe prestar atención a la contaminación y los riesgos para la salud relacionados con el agua freática (Módulo 8);
- las iniciativas para **mejorar la recarga de las precipitaciones** son técnica y económicamente efectivas, y equitativas con respecto a los beneficios;
- se introduce una dimensión de las aguas freáticas en la planificación del uso de la tierra, a fin de dirigir **cambios en el uso de la tierra a favor de la calidad del agua freática** (Módulo 8).

- ③ El proceso de planificación de las aguas freáticas debe ser dinámico e iterativo, y permitir la interacción/el aprendizaje y el control/los comentarios entre los niveles de acuífero local y nacional. **Esto debe permitir la implementación simultánea de las medidas prácticas de gestión donde más se las requiere. Al mismo tiempo, no se debe desatender el panorama general y se debe tratar juiciosamente la incertidumbre y los vacíos de información.** Es indispensable un sólido modelo conceptual del régimen de la calidad y el caudal de agua freática, y una valoración del impacto de la actividad humana para la gestión efectiva y la protección de los acuíferos. No obstante, la falta de datos completos no debería considerarse una excusa para no continuar con el trabajo, ya que se puede hacer mucho sin una base de datos exhaustiva. Completar los vacíos de información clave puede convertirse, de hecho, en parte del proceso de control de gestión.

- ③ Ya sea a nivel del acuífero o a nivel nacional, un plan de gestión de las aguas freáticas debe considerarse como un “mapa de ruta” para guiar los cambios necesarios al moverse de una gestión fragmentada a una gestión integrada de las aguas freáticas y acelerar la implementación. Un plan debe establecer claramente los objetivos y el camino para lograrlos, con hechos clave en el trayecto que puedan controlarse con facilidad.

4.3 Planificación integrada de la cuenca

Como lo implica el título, la planificación del agua freática en una cuenca no puede desarrollarse de manera aislada de la planificación del agua superficial ni de los planes para el desarrollo social y económico de la cuenca.

- ③ No existe ningún plan de acción simple para los planes integrados de cuencas que se adapten a todos los casos. La experiencia internacional (como se resume en la Tabla 3.3) puede ser útil para identificar los elementos esenciales de un plan para la cuenca, y debe garantizarse que el plan trate todos los recursos hídricos de la cuenca, no sólo el agua superficial.
- ③ El liderazgo de un equipo profesional interdisciplinario de cuenca hidrográfica (hidrogeólogos, ingenieros medioambientales, economistas, sociólogos y abogados) es una condición necesaria para un plan de recursos hídricos (freáticos) que:
- estará basado en sólidos principios científicos y tecnológicos;
 - recomendará opciones de gestión factibles desde el punto de vista económico;
 - será sostenible desde el punto de vista medioambiental, socialmente aceptable e implementable desde el punto de vista institucional.
- ③ La planificación y la implementación deben interrelacionarse, de manera que la preparación de un plan de gestión de los recursos hídricos (freáticos) se desarrolle en etapas progresivas, a partir de una primera versión en borrador que se evalúe teniendo en cuenta los posibles impedimentos institucionales para la implementación. Se puede adoptar una o más de las

siguientes medidas para mejorar la gobernabilidad de los recursos hídricos (freáticos) y para preparar versiones subsiguientes más realistas:

- mejorar los acuerdos institucionales;

- establecer programas de creación de capacidades;
- establecer campañas de educación pública.
- mejorar los recursos hídricos (freáticos) y la información de uso

Fig. 3.3: La planificación de gestión de las aguas freáticas y el proceso de implementación

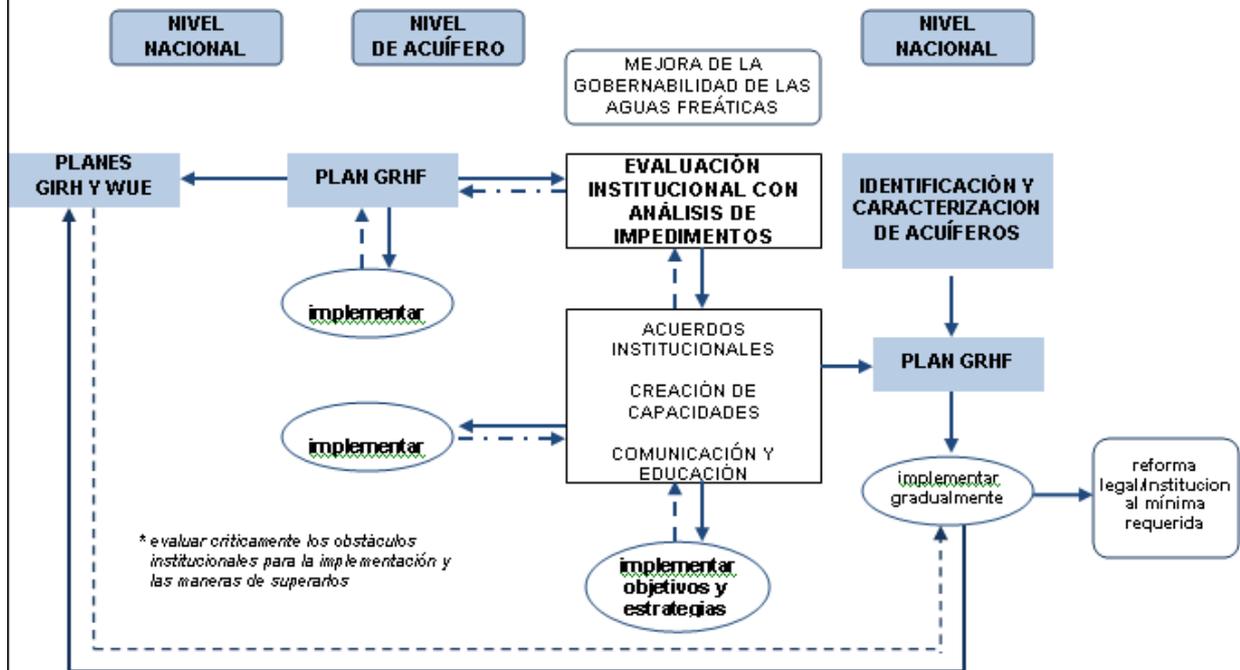


Tabla 3.3: Lista de control para la elaboración de planes de gestión de las aguas freáticas (Nota informativa 10 de GW-Mate).

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN	Estado del agua freática y servicios requeridos	Evaluación de recursos Características de la calidad Servicios requeridos
	Disposiciones de gestión actuales	Disposiciones institucionales Asignación y uso del agua Redes de control Capacidad institucional
ELECCIÓN DE ESTRATEGIA	Opciones/reforma de gestión futuras	Análisis económico Definición de opciones
IMPLEMENTACIÓN	Programa de implementación	Participación de los grupos de interés/usuarios Requisitos de control y revisión Análisis económico/financiero Sistema de información
EVALUACIÓN	Evaluar el progreso y revisar el plan	Evaluación de los recursos hídricos Eficiencia del uso del agua Conflictos Recuperación de costos Instrumentos reguladores

- asegurar que los objetivos sean posibles y las estrategias de implementación directas.
 - ③ La versión final del plan debe ser aprobada por la autoridad competente y debe ser vinculante en la administración de los recursos hídricos (freáticos) y los usuarios de los recursos hídricos (freáticos), sin perjuicio de la revisión periódica y la actualización a intervalos que indicará la legislación. El plan puede implementarse gradualmente, y las lecciones aprendidas de la implementación conducirán a mejores planes subsiguientes.
 - ③ Desde el principio, un enfoque de la GIRH se adopta mejor si se enfoca en
 - ③ problemas reales y los trata de manera directa. La Tabla 3.4 ofrece ejemplos de algunos problemas específicos de la gestión de las aguas freáticas, pero también habrá problemas de gestión de los recursos hídricos superficiales y, cuando sea posible, deberán integrarse las soluciones. En la planificación y la
- gestión de las aguas freáticas, diferentes grupos de interés 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 cuanto a esto, la identificación de objetivos iniciales que pueden lograrse fácilmente para asegurar beneficios claros a corto plazo (las oportunidades más asequibles) puede ayudar a estimular el respaldo político de la implementación.
- ③ A nivel del acuífero, los participantes clave en la planificación de las aguas freáticas son los usuarios del agua freática y otros grupos de interés locales, ya que ellos deben ser los que conozcan mejor los asuntos en cuestión. Pero debe reconocerse que la participación social sola rara vez llevará a una gestión sostenible de las aguas freáticas, y normalmente se necesitará gobierno a fin de facilitar un enfoque complementario ascendente y descendente.
 - ③

Tabla 3.4: Puntos de acceso para los principales participantes en la planificación y la implementación de la gestión de las aguas freáticas.

ASUNTOS CLAVE DE LAS AGUAS FREÁTICAS
Desarrollo rural
Acceso económico: la necesidad de información hidrogeológica sólida para garantizar fuentes de agua freática puede crearse a un costo tolerable.
Confiabilidad del suministro operativo: necesidad de estándares sólidos/programáticos, diseño sólido, O&M, planes financieros adecuados.
Agotamiento del acuífero: controlar la extracción de agua freática y evitar la interferencia de pozos, que afecta el caudal río abajo, los pantanos de agua dulce o las lagunas salobres, la intrusión de agua salina o el hundimiento de la tierra.
Contaminación difusa del agua freática: control de la contaminación del acuífero y protección de la fuente de aguas freáticas principalmente a través de la planificación y el control del uso de la tierra.
Desarrollo urbano
Extracción de agua freática controlada de manera inadecuada dentro de la ciudad: reservar agua freática más profunda para el consumo y fomentar el uso del agua freática contaminada de poca profundidad para las actividades que no impliquen su consumo.
Extracción de agua freática controlada de manera inadecuada alrededor de la ciudad: reservar agua freática de buena calidad para el suministro de agua potable y sustituir el agua residual tratada o el agua freática contaminada de poca profundidad para riego.
Carga excesiva de contaminantes del subsuelo: definir la zona de protección de la fuente para el control prioritario de la carga de contaminantes para los campos de pozos municipales y planificar el manejo del agua residual teniendo en cuenta los intereses del agua freática.
Infiltración urbana excesiva: reducir la infiltración a través del control de las pérdidas de la red de suministro principal, la filtración sanitaria en las instalaciones a través de la instalación de un alcantarillado de la cañería principal y aumentar la extracción de agua freática contaminada de poca profundidad para usos no críticos.

5. Enfoques para los acuíferos transfronterizos

- ③ Sólo existen ejemplos limitados hasta la fecha de cooperación internacional en la gestión de recursos de aguas freáticas compartidos, aunque se reconoce cada vez más que dicha cooperación es beneficiosa y debe institucionalizarse para evitar conflictos. Los esfuerzos por desarrollar reglas legales internacionales sobre la materia son sólo recientes y, por lo general, no se extienden hasta la planificación de las aguas freáticas de por sí.
- ③ En el caso de las aguas freáticas internacionales, no es posible adoptar un enfoque uniforme. En determinadas circunstancias, por ejemplo, la explotación de reservas de acuíferos no renovables, es aconsejable desarrollar un plan de aguas freáticas internacionales que incluya una “estrategia de salida del agotamiento” (Nota informativa 11 de GW-Mate). Pero los efectos del desarrollo de agua freática a una escala mucho más pequeña (por ejemplo, suministro de agua para pequeñas ciudades y subsistencia rural) sólo se percibirán a nivel local, por lo que no sería necesario un plan

que abarque todo el sistema de acuíferos a nivel internacional.

- ③ Se pueden seleccionar diferentes mecanismos institucionales para planificar y gestionar los recursos hídricos subterráneos internacionales, de acuerdo con el nivel de cooperación existente entre los estados afectados (Tabla 3.5), y el tipo y la urgencia de los asuntos que se abordarán. Debe destacarse que un mecanismo institucional puede evolucionar de un acuerdo simple para manejar e intercambiar datos a una comisión internacional de cuenca hidrográfica o acuífero que tome decisiones autónomas en beneficio de los estados miembros. Se espera que este último mecanismo tenga una fuerte sinergia con los gobiernos nacionales.

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

NIVEL DE COOPERACIÓN	MECANISMOS INSTITUCIONALES		
	TIPO	FUNCIÓN	PARTICIPACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN
Incipiente	Red de intercambio de datos de agencias nacionales coordinadas por una institución neutral	Administración de los modelos y la base de datos del acuífero	Aporta la información necesaria, pero la planificación aún es una función nacional
Moderado	Comité técnico con secretariado	Administración de los modelos y la base de datos del acuífero; preparación de estrategias posibles, planificación y medidas	Recomienda un plan, pero la decisión sobre su aprobación es tomada por los gobiernos nacionales
Alto	Comisión conjunta con secretariado	Administración de los modelos y la base de datos del acuífero; adopción de estrategias, planes y medidas, y aprobación de medidas de desarrollo de recursos	Las decisiones autónomas sobre los planes las toma la comisión misma y son obligatorias para los estados miembros; sólida sinergia entre las instituciones gubernamentales nacionales

6. RHF y entorno

Tipos de ecosistemas dependientes de las aguas freáticas

Una manera de clasificar los ecosistemas relacionados con las aguas freáticas es por su entorno geomorfológico (acuático, terrestre, costero, etc.) y el mecanismo de caudal de agua freática asociado (de mucha o poca profundidad). Sobre esta base se reconoce una cantidad de diferentes clases (la Figura 3.4A-E ilustra la más importante):

Pantanos más elevados, alimentados por agua superficial, forman áreas amplias de recarga de aguas freáticas naturales, y también deben incluirse, ya que su integridad puede verse amenazada por la extracción excesiva de agua freática. A menudo habrá cierta incertidumbre sobre si estos ecosistemas estrictamente “dependen del agua freática” o sólo “usan el agua freática” (es decir, si son capaces de sobrevivir sin acceso al nivel freático o sin descargar agua freática).

Los ecosistemas relacionados con las aguas freáticas se ven afectados de forma directa (a través de la extracción incrementada de los recursos hídricos) o indirecta (a través de una carga incrementada de contaminantes de los recursos hídricos) por un mayor desarrollo agrícola y urbano. Así, un asunto importante en relación con la implementación de la gestión de las aguas freáticas es proteger los ecosistemas que dependen del agua freática.



Proporcione un ejemplo de un ecosistema degradado dependiente de las aguas freáticas en su país.

Gestión medioambiental y de las aguas freáticas

Es de fundamental importancia para la gestión de las aguas freáticas tener en cuenta la interacción del ecosistema con el agua freática.

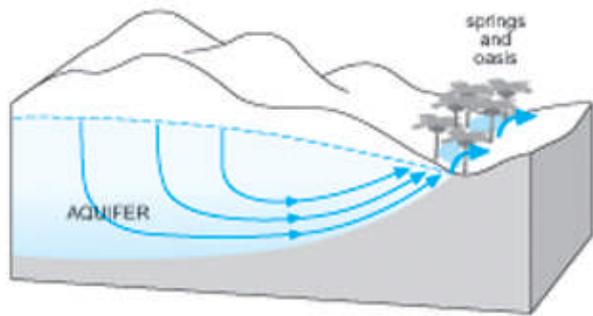
Las opciones a considerar en la gestión de las aguas freáticas son similares a la gestión de los recursos hídricos superficiales:

- ③ Controlar la extracción/asignación: mediante la inclusión de criterios para mantener los niveles del agua freática y conservar la calidad de la misma a fin de satisfacer los requisitos del ecosistema receptor.



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

Fig. 3.4: Principales clases de ecosistemas relacionados con las aguas freáticas y los regímenes de caudal de agua freática asociados (Nota informativa de 15 GW-Mate)

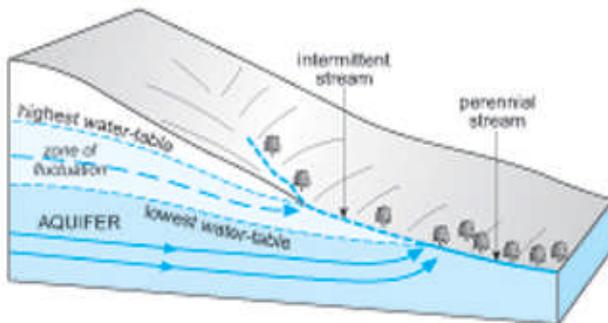
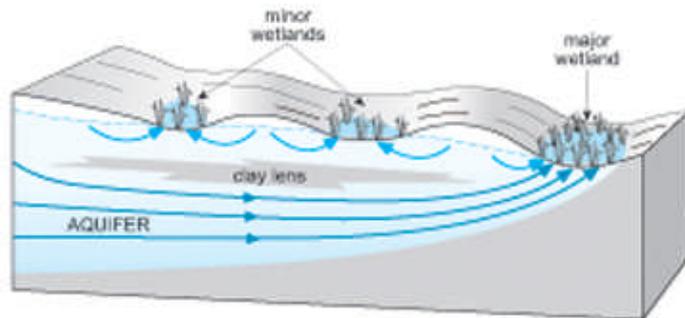


(A) ECOSISTEMA DE PANTANO EN REGIÓN ÁRIDA

Dependiente del sistema de caudal de agua freática profundo, a veces sólo con reabastecimiento contemporáneo limitado y caudal de acuífero fósil.

(B) ECOSISTEMA DE PANTANO EN REGIÓN HÚMEDA

Los ecosistemas individuales pueden depender del (o usar) agua freática de diferentes profundidades en un sistema de caudal de acuífero con múltiples capas.

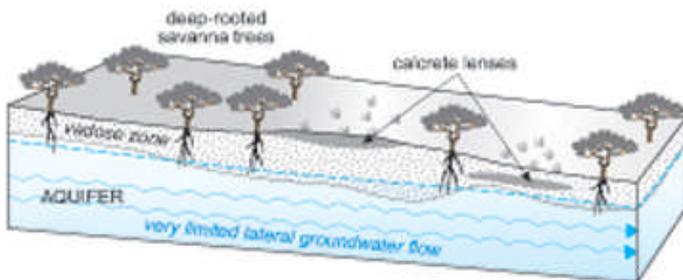
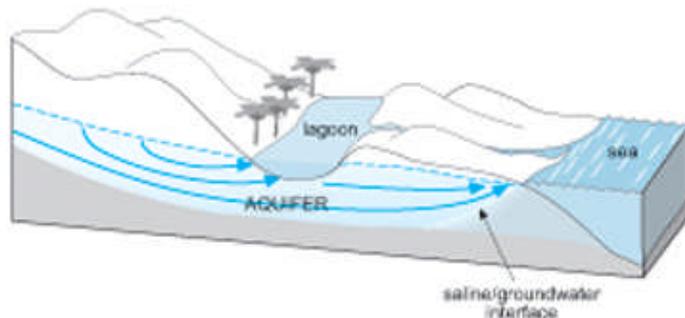


(C) ECOSISTEMA ACUÁTICO DE VAGUADA EN REGIÓN HÚMEDA

Ecosistemas variables a lo largo del tramo del sistema hidrográfico en parte alimentado por la descarga de agua freática perenne y en parte por el caudal de agua freática intermitente.

(D) ECOSISTEMA DE LAGUNA COSTERA

Ecosistema que depende del agua levemente salobre generada por la combinación de la descarga de agua freática potable y la intrusión limitada del agua de mar en mareas excepcionalmente altas.



(E) ECOSISTEMA TERRESTRE EN REGIÓN ÁRIDA

Ecosistemas de la sabana que dependen excepcionalmente de arbustos y árboles bien arraigados que se conectan con el nivel freático o su franja capilar directamente (distribución limitada por el espesor y el grado de consolidación de los sedimentos en la zona vadosa).

Puede surgir un debate sobre el equilibrio entre mejorar los medios de vida rurales y sostener la salud del ecosistema.

- ③ Introducir “zonas de protección” en las captaciones: Proteger los ecosistemas de pantanos al asegurar la calidad del caudal de agua freática de poca profundidad que se dirige a los pantanos y reducir el grado de interferencia del nivel de agua freática.
- ③ Recarga artificial de agua freática: para suplementar los caudales de agua freática y mejorar la calidad del agua freática en beneficio de la conservación de los pantanos, o incluso los caudales de compensación bombeados de acuíferos a pantanos cuando los niveles del agua freática caen por debajo de un nivel crítico.

- ③ Los asuntos que impulsan el cambio en las medidas de gestión de los recursos hídricos tienen una vinculación muy estrecha con la manera en que se gestiona el desarrollo del agua (rural/urbana). Por lo tanto, gestionar el desarrollo del agua para diferentes propósitos es un punto de acceso clave para practicar la gestión de las aguas freáticas.
- ③ La participación de los principales grupos de interés es un principio importante para el desarrollo de un enfoque efectivo y sostenible hacia la gestión.
- ③ La necesidad de crear capacidades, tanto entre las autoridades de los recursos hídricos y los usuarios del agua, es un elemento de impulso clave para implementar medidas de gestión.

7. Resumen

- ③ Las conclusiones clave de este módulo son:
- ③ Tanto las condiciones hidrogeológicas como las socioeconómicas suelen en cierto modo ser específicas de un lugar en particular.
- ③ Donde haya una conexión física, el agua superficial (incluidos los caudales terrestres) y el agua freática deben gestionarse como un único recurso.
- ③ Los regímenes de asignación deben suponer la conectividad entre el agua superficial (incluidos los caudales terrestres) y el agua freática a menos que se demuestre lo contrario.
- ③ El avance hacia enfoques más integrados y sostenibles del agua a menudo comienza con medidas para enfrentar desafíos hídricos concretos y urgentes. De hecho, tales medidas, si bien se originan en la necesidad de tratar un desafío específico, pueden demostrar ser útiles para enfrentar los desafíos hídricos futuros y en materia de desarrollo de una manera más integrada.

Referencias y lecturas 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, Canadá

Ejercicio

Juego de roles: 90 minutos

Antecedentes: es un empleado de una organización de cuenca hidrográfica encargado del desarrollo del plan de la cuenca hidrográfica. La cuenca hidrográfica está bien desarrollada con agricultura comercial y dos centros urbanos con industrias. Hay comunidades de subsistencia esparcidas. El río es estacional y muchas personas utilizan el agua freática, pero su disponibilidad no está bien comprendida. La OCH depende de los ingresos de la venta de recursos hídricos para sus operaciones y, por lo tanto, tiene un presupuesto limitado.

Tarea: identificar tres personas que serán el CEO y dos delegados. Serán responsables de liderar el grupo y de garantizar que se complete la tarea. El resto de los participantes se desempeñará como personal auxiliar (ingenieros, hidrogeólogos, personal de control, asignación, finanzas, control de la contaminación y planificadores). Al final del tiempo asignado, debe

- a) presentar la página de contenidos borrador del plan que cumpla con los ideales de un enfoque de la GIRH y que integre claramente el agua freática y el agua superficial; y
- b) describir el proceso de cómo recopilará información para elaborar el plan para la cuenca.

Módulo 4: Legislación y regulación de las aguas freáticas

Objetivos de aprendizaje:

- ③ Valorar la necesidad de legislación de las aguas freáticas y su integración con la legislación de los recursos hídricos superficiales.
- ③ Comprender los componentes clave de la legislación sobre el agua.
- ③ Considerar los acuerdos institucionales para la gestión de las aguas freáticas.

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

Entre otros asuntos, la legislación de las aguas freáticas debe regular el desarrollo del agua freática y limitar las actividades que puedan comprometer su disponibilidad y calidad; y resolver la competencia y el conflicto crecientes entre los usuarios del agua freática, y la amenaza creciente de contaminación del agua freática.

En algunos países, hay diferentes instrumentos legales que regulan el agua mientras que en otros es posible que no exista ninguna legislación. Las reformas para tratar la necesidad de un uso más sostenible de nuestros recursos hídricos limitados han contribuido enormemente a tratar muchos de los asuntos problemáticos de la gobernabilidad

del agua. Sin embargo, a menudo el agua freática no se ha tratado debidamente en la legislación sobre el agua o aún puede tener problemas de disposiciones legislativas dispersas (a menudo en conflicto).

Se reconoce cada vez más que el agua freática 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 del agua freática y superficial a través de:

- ③ pautas y limitaciones para el ejercicio de los poderes públicos;
- ③ previsiones para la cuantificación, la planificación, la asignación y la conservación de los recursos hídricos (freáticos), incluida la extracción de agua y los derechos de uso;
- ③ un sistema de licencias de descarga del agua residual, que ayude a proteger el agua (subterránea) de la contaminación;
- ③ la definición de los derechos y las obligaciones de los usuarios del agua (subterránea);
- ③ la protección de los derechos de uso, de los derechos de terceros y del medio ambiente;
- ③ los requisitos para el registro y la calificación de los perforadores de pozos;
- ③ la posible intervención administrativa en situaciones importantes (agotamiento del acuífero, sequía o contaminación);

Tabla 4.1: Resumen de los conceptos básicos legales y alcance de la legislación sobre el agua. (Nota informativa 4 de GW-Mate)

Derecho consuetudinario (implícito)	Se considera que la costumbre está establecida por: <ul style="list-style-type: none"> ● la repetición sistemática de una conducta dada por muchos miembros de la comunidad ● la convicción de la comunidad de que dicha conducta corresponde a una regla legal
Legislación (Derecho escrito)	La legislación, teniendo en cuenta la costumbre como comportamiento social aceptado, abarca: <ul style="list-style-type: none"> ● la ley fundamental o constitución de un país; ● las leyes establecidas por el cuerpo legislativo (parlamento, asamblea nacional); ● legislación subsidiaria (decretos o instrumentos adoptados por el gobierno ejecutivo); las leyes establecidas por el cuerpo legislativo pueden no anular las disposiciones constitucionales, y a su vez pueden no ser revocadas o contradichas por la legislación subsidiaria.
Legislación sobre el agua	Pretende regular la relación entre las personas (físicas y legales) y entre las personas y la administración del estado sobre los recursos hídricos; incluye todas las disposiciones legales sobre el desarrollo, el uso, la protección y la gestión de las aguas freáticas, que pueden estar diseminadas en varios decretos o integradas en una ley exhaustiva sobre el agua.

- ③ provisiones para la interacción cooperativa entre los administradores y los usuarios del agua (subterránea).

decretos o integradas en una ley exhaustiva sobre el agua.

2. Conceptos legales básicos

En el contexto presente es importante destacar que el concepto de “legislación” difiere del de “ley” (Tabla 4.1). La legislación es la ley escrita, promulgada de acuerdo con los procedimientos consagrados en la constitución, mientras que la ley abarca la legislación y las reglas no escritas que emanan de la costumbre.

La legislación sobre el agua pretende regular la relación entre las personas (físicas y legales) y entre las personas y la administración del estado sobre los recursos hídricos; incluye todas las disposiciones legales sobre el desarrollo, el uso, la protección y la gestión de las aguas freáticas, que pueden estar diseminadas en varios

3. Evolución de la legislación de las aguas freáticas

La legislación de las aguas freáticas ha evolucionado desde distintas tradiciones y usos. El derecho romano, la tradición del Código Civil Francés 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 una modificación sustancial, por aquellos países que derivan su sistema legal de estas regiones.

En países que seguían el sistema del Código Civil y la tradición del Derecho Consuetudinario, el régimen legal de las aguas

Tabla 4.2: Niveles progresivos de la regulación de las aguas freáticas. (Nota informativa 4 de GW-Mate)

NIVEL DE REGULACIÓN	CONSECUENCIAS	LIMITACIONES
Control legal mínimo	ningún control sobre la extracción de agua freática o la descarga de aguas residuales	reducción de la descarga natural del acuífero y/o la contaminación y salinización progresivas
Derechos consuetudinarios locales	derechos del agua freática definidos a nivel local; mecanismos para la resolución de conflictos a nivel local	controles limitados que no tienen en cuenta el estado del sistema de acuífero y los impactos en él, los usuarios río abajo ni los asuntos de calidad del agua freática
Legislación específica de las aguas freáticas	construcción de pozos y extracción de agua freática controladas, pero a menudo por una institución especializada en contacto limitado con las que regulan el agua superficial	puede generar la falta de consideración de los pantanos y los caudales intrínsecos que dependen del agua freática; es probable que no haga demasiado hincapié en la protección de la calidad del agua freática
Legislación exhaustiva de los recursos hídricos	recursos hídricos superficiales y subterráneos sujetos a la misma legislación e interdependencia completamente reconocida; administrados por la misma institución, pero una agencia independiente a menudo trata los aspectos relacionados con la calidad	capacidad mejorada para la gestión de los recursos hídricos, pero la visión de la captación y el control de la contaminación aún pueden ser deficientes; además, las preocupaciones de los usuarios del agua pueden no ser tomadas en cuenta y probablemente no alcancen un respaldo proactivo
Legislación de los recursos hídricos completamente integrada*	enfoque de captación o acuífero con aspectos de calidad y cantidad integrados; mayor énfasis en la toma de conciencia pública y participación de los usuarios del agua/grupos de interés (naturaleza internacional de algunos acuíferos y cuencas hidrográficas reconocidas)	brinda una mejor oportunidad de implementar una política de regulación equilibrada y efectiva

freáticas en gran parte dependía del régimen legal de la tierra suprayacente, es decir, la propiedad privada de la tierra se correspondía con los derechos de uso privados e ilimitados del agua freática.

Algunas comunidades aplicaron efectivamente algunos 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 tuvieron en cuenta los intereses de acuíferos más amplios o río abajo.

No obstante, más tarde se introdujo ampliamente (aunque no de manera universal) una legislación más exhaustiva (Tabla 4.2). En la mayoría de los países, la regulación del agua superficial está más avanzada que la regulación del agua freática, tanto en materia de leyes como en la práctica. El reconocimiento de que el agua es un recurso vinculado, la urgencia de un uso más sostenible y equitativo para el beneficio de la sociedad están llevando a aumentar el control legislativo y regulador sobre el agua superficial y subterránea.

4. Componentes de la legislación

La legislación moderna sobre el agua freática, en términos generales, debe ser flexible, favorable y aplicable. Así, se recomienda que la **legislación básica** esté restringida a los conceptos y poderes fundamentales, y que el detalle se trate en las regulaciones y los planes de implementación asociados. También proporciona una visión más unificada de los recursos hídricos superficiales y freáticos, pero las características particulares de los sistemas de aguas freáticas y su cercana relación con el uso de la tierra exigen disposiciones legislativas específicas en diferentes áreas administrativas y en diferentes niveles territoriales (Tabla 4.3). La mayoría de estas disposiciones son las mismas para la gestión de los recursos hídricos superficiales y, cuando corresponda, tiene sentido que se aborden en una disposición legislativa. Es muy probable que haya diferencias evidentes entre el agua superficial y subterránea en los sistemas de gestión y las herramientas adoptadas, así como la importancia inherente a las disposiciones. Algunas de estas disposiciones específicas se analizan en detalle a continuación.

Tabla 4.3: Facetas de la administración pública que requieren una disposición legal específica para facilitar la gestión de las aguas freáticas. (Nota informativa 4 de GW-Mate)

CONFIGURACIÓN ADMINISTRATIVA	
<ul style="list-style-type: none"> • Autoridad nacional o comisión coordinadora interministerial • Agencias provinciales y/o de la cuenca 	<ul style="list-style-type: none"> • procedimientos para la interacción con autoridades locales • organizaciones de gestión de acuíferos • asociaciones de usuarios del agua • autorización de perforadores de pozos de agua
(NIVEL NACIONAL)	(NIVEL MÁS BAJO ADECUADO*)
PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA	GESTIÓN DEL USO DE LA TIERRA
<ul style="list-style-type: none"> • previsiones para evaluar la vulnerabilidad/los recursos del acuífero • diseño e implementación de políticas de las aguas freáticas nacionales/regionales/de la cuenca • definición de la política del área de protección (conservación o control) • mandato para medidas de emergencia o en caso de sequía • estado de los planes de las aguas freáticas y las prioridades de uso 	<ul style="list-style-type: none"> • procedimientos para las zonas de protección de las aguas freáticas • previsiones para la conservación del área de recarga del acuífero
	REGULACIÓN DE LOS USUARIOS DEL AGUA
	<ul style="list-style-type: none"> • administración de derechos de extracción/uso • administración de permisos de descarga de aguas residuales • promoción de asociaciones de usuarios/grupos de interés • procedimientos de apelación y sanción

* según la superficie del país u otros factores

③ **Derechos de extracción y uso de agua freática**

Entre otras cosas, los derechos del agua (subterránea) sirven como la base para el cargo por extracción, y en algunos países pueden comercializarse.

③ **Autorización de descarga del agua residual**

La autorización de las descargas de agua residual (en especial de las descargas al suelo), que está sujeta a las condiciones sobre el modo de descarga y el nivel de tratamiento, está diseñada para proteger al agua (subterránea) de la contaminación. El principio “quien contamina paga” normalmente está contenido en esta área de la legislación.

③ **Sanciones por incumplimiento**

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

③ **Control de las actividades de la construcción de pozos**

Otras disposiciones de la legislación de las aguas freáticas se relacionan con la autorización de todos los contratistas de perforación de pozos de agua, a fin de garantizar mejores relaciones (y flujo de información) con la administración de los recursos hídricos, los estándares más altos de la construcción de pozos, la mejora de los informes sobre las condiciones hidrogeológicas encontradas y la disminución de la probabilidad de la construcción ilegal de pozos. La legislación sobre el agua también puede introducir controles sobre la importación de bombas y equipo de perforación en un intento por reprimir la extracción excesiva de agua freática.

③ **Captación o planificación de recursos a nivel del acuífero**

La legislación sobre el agua tiende a proporcionarle a la planificación de los recursos hídricos referencia para las cuencas del agua superficial y/o los sistemas de acuíferos. En función del inventario de los recursos hídricos y de los usos existentes, los planes proporcionan una base integrada para la evaluación de las aplicaciones

individuales para los derechos del agua. Por lo general, tienen una naturaleza legalmente vinculante, y las decisiones sobre las aplicaciones deben ser coherentes con sus disposiciones.

③ **Uso conjunto del agua superficial y subterránea**

Al reconocer las ventajas del uso conjunto del agua, un permiso podría cubrir tanto la extracción de agua freática como la descarga de un efluente de calidad aceptable a un curso de agua superficial, o el desvío del agua superficial y el uso junto con la recarga de un efluente de calidad aceptable para el suelo.

③ **Zonificación de la superficie terrestre para la conservación y la protección de las aguas freáticas**

En algunos países, la legislación tiene previsto que los administradores de recursos hídricos declaren “áreas especiales de control”, donde se posibilitan medidas excepcionales (tales como restricciones sobre nuevas tasas de perforación de pozos de agua y/o extracción de agua freática) a fin de evitar un mayor deterioro del acuífero. La zonificación de la superficie terrestre también puede enfocarse en la protección de las áreas de recarga vulnerables del acuífero y/o las fuentes de suministro de agua freática. En las zonas definidas, se pueden aplicar restricciones en relación con actividades posiblemente contaminantes (tales como ciertos tipos de urbanización, eliminación de desechos sólidos en vertederos, almacenamiento de productos químicos peligrosos e instalaciones de manipulación, minería y excavación, etc.). Para la prevención de la contaminación difusa del uso agrícola de la tierra, se suelen aplicar restricciones o importar mecanismos de control en ciertos pesticidas y promover la adopción de códigos de buenas prácticas agrícolas.

③ **Facilitación de la participación de los usuarios del agua y los grupos de interés**

La participación de los usuarios del agua (subterránea) y otros grupos de interés en la gestión de los recursos hídricos (freáticos) (Módulo 7) es un asunto de preocupación creciente para

los legisladores, quienes advierten que las disposiciones legales probablemente se implementen cuando los grupos de interés tengan voto. Además de las asociaciones locales de los usuarios del agua, es posible que se necesiten “organizaciones de gestión de acuíferos” constituidas en mayor medida para los acuíferos grandes:

- analizar la implementación de medidas a través de los sectores de usuarios y entre las asociaciones de los usuarios del agua;
- acordar medidas prioritarias en áreas donde las aguas freáticas se encuentren en una situación crítica;
- asistir al ente regulador de los recursos hídricos generalmente en la administración de la extracción de agua freática.

Es importante proporcionarles a estas organizaciones un estado legal e integrarlas en mecanismos institucionales más amplios para la gestión y protección de las aguas freáticas.

③ **Disposiciones para el control de las aguas freáticas**

La legislación de los recursos hídricos (freáticos) debe tener previsto el control del estado (cantidad y calidad) de los recursos hídricos (freáticos) y el uso del agua al asignar esta tarea a la administración de los recursos hídricos al nivel territorial adecuado. Para ser efectiva, esta legislación debe establecer requisitos realistas que tengan en cuenta los recursos existentes y la capacidad institucional.

5. Acuerdos institucionales

La legislación sobre el agua debe garantizar que se establezca un entorno favorable para la gestión efectiva de los recursos hídricos, incluidas las aguas freáticas. Los acuerdos institucionales para la gestión proporcionarán claridad a los roles y responsabilidades de las instituciones nacionales y/o provinciales responsables de los recursos hídricos (freáticos) y definirán las maneras de confrontar las restricciones posibles al proceso de gestión, tales como los límites inadecuados de la gestión de las aguas freáticas, la aplicación reguladora débil, la falta de consenso social y la coordinación interinstitucional deficiente.

Rol del estado

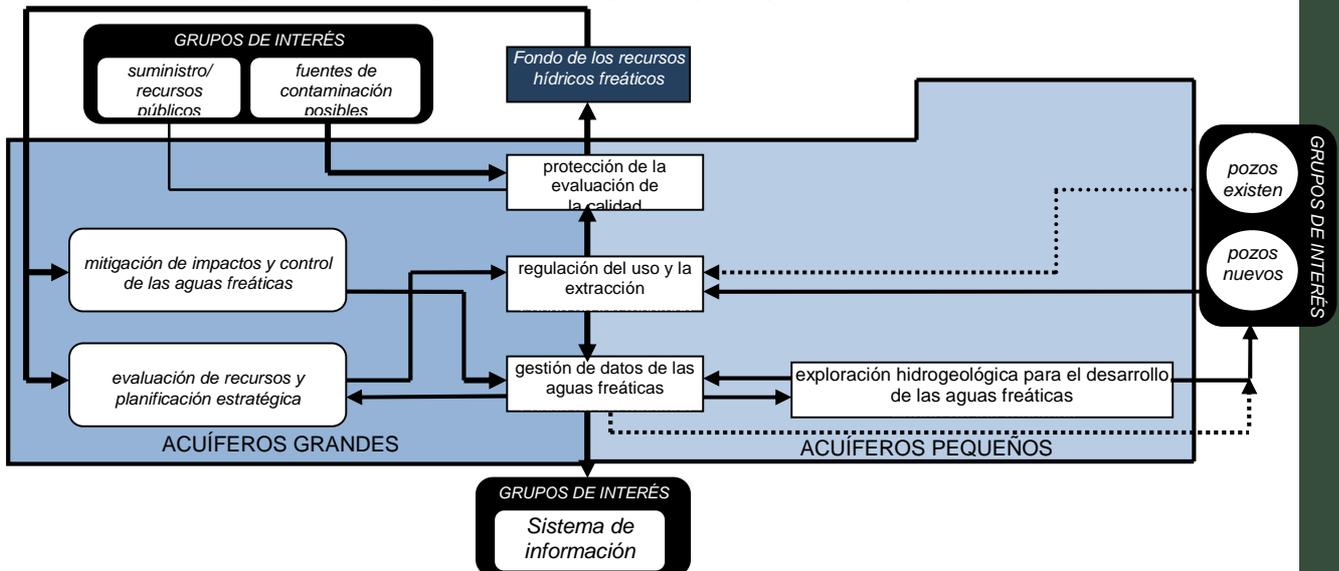
Dados los problemas creados por la creciente escasez y contaminación del agua, se ha promulgado ampliamente una legislación para invertir todos los recursos hídricos en el estado o para reconocer el derecho superior del estado en la gestión de los recursos hídricos. La declaración de las aguas freáticas como un “bien público” convierte al propietario anterior en un usuario, que debe referirse a la administración del estado para el derecho de uso y extracción de agua. Una vez que el estado es el guardián o protector de las aguas freáticas, puede (además de conceder derechos del agua) introducir medidas para evitar el agotamiento del acuífero y la contaminación de las aguas freáticas. Además, ahora la legislación tiende a requerir la planificación de los recursos hídricos al nivel de todo un acuífero o cuenca hidrográfica.

En la Figura 4.1 GWMate sugiere la estructura y las funciones idealizadas para una agencia gubernamental que actúa como guardián de las aguas freáticas. Sólo en el caso de acuíferos muy grandes existe la posibilidad de que se establezca una organización independiente para la gestión. En la mayoría

adaptado a las condiciones nacionales o estatales:

- ③ a nivel nacional: las funciones de gestión (que cubran aspectos cualitativos y cuantitativos) deben estar investidas en una única autoridad o ministerio o (donde esto no se considere

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



de los casos, la gestión de las aguas freáticas estará completamente integrada en organizaciones con responsabilidad por el agua superficial y subterránea. La gestión de las aguas freáticas recibe atención inadecuada de acuerdo con esta disposición. Es un problema histórico que debe tratarse.

Implementación de la legislación de los recursos hídricos (freáticos)

La implementación exitosa de la legislación de los recursos hídricos (freáticos) depende de determinados factores, tales como:

- ③ el mecanismo administrativo y el nivel de capacitación de los administradores de recursos hídricos;
- ③ una comprensión clara de los roles y las funciones institucionales en todos los niveles relevantes (Tabla 4.4);
- ③ un nivel adecuado de conciencia pública y aceptación de las disposiciones legales;
- ③ voluntad política para promover y alcanzar la gestión sostenible de las aguas freáticas.

La legislación de las aguas freáticas debe prescribir un mecanismo administrativo

adecuado) se deben establecer mecanismos institucionales claros para la coordinación entre los organismos competentes;

- ③ a nivel de la cuenca hidrográfica o regional: la situación específica puede garantizar el establecimiento de agencias de cuencas hidrográficas, especialmente para la ejecución de algunas funciones de planificación y coordinación;
- ③ a nivel intermedio o local: es importante prestar suma atención a los acuerdos institucionales locales para la administración de los recursos hídricos, el rol de las autoridades locales en la gestión de los recursos hídricos (ya que ellas representan el interés local) y el establecimiento de instituciones intermediarias (organizaciones de gestión de acuíferos) con poder legal en relación con los acuíferos especificados y con la representación adecuada de diferentes asociaciones de usuarios del agua, varios sectores del uso del agua y una relación clara con la administración de los recursos hídricos.

Debe reconocerse que existe una falla generalizada para aplicar algunas disposiciones de la legislación y las regulaciones de los recursos hídricos. Un buen

ejemplo es el control de la contaminación. Estas fallas se deben a muchas razones, pero una común es la legislación de elaboración deficiente que no responde a la realidad social y económica del país. Por lo tanto, es

importante que los profesionales de los recursos hídricos participen del desarrollo de la legislación sobre el agua en todas las etapas.

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	Agencia reguladora local	Oficinas de gestión de acuífero/subcuenca	Asociaciones de usuarios del agua
FORMULACIÓN DE POLÍTICAS Y PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA					
	- Evaluación de recursos	•	×	×	
	- Evaluación de uso y estudio socioeconómico		•	×	×
	- Planificación estratégica a largo plazo	•	×	×	
	- Acuerdos internacionales	•			
GESTIÓN/REGULACIÓN DE RECURSOS					
Participación de los grupos de interés	- Desarrollar y mantener un proceso de participación activo de los grupos de interés a través de actividades periódicas de consulta. - Brindar asesoramiento especializado y asistencia técnica a autoridades locales y a otros grupos de interés de la GIRH.	•	• •	×	
Control de la contaminación	- Autorización de descarga del agua residual.	•	•	×	×
	- Identificación de los principales problemas de contaminación.	•	•	×	×
	- Definición de las áreas protegidas.	•	•	×	×
Asignación del agua	- Administración de los derechos del agua/autorización de usos del agua que incluyen su aplicación.	•	•	×	×
	- Autorización de implementadores de desarrollo, por ejemplo, perforadores de pozos.	•	×		
Gestión de la información	- Definir las producciones de información que necesitan los administradores de los recursos hídricos y los diferentes grupos de interés en una cuenca hidrográfica.	•	•	×	×
	- Organizar, coordinar y administrar las actividades de gestión de información.	•	•	×	
Establecer herramientas económicas y financieras	Determinar tarifas y cargos para el uso del agua y la contaminación.	•	•	×	

Función clave	Actividad principal	Roles institucionales			
		Autoridad nacional del agua/OCH	Agencia reguladora local	Oficinas de gestión de acuífero/subcuenca	Asociaciones de usuarios del agua
Planes de acción de la cuenca	- Realizar un análisis de la situación con los grupos de interés.	•	•	x	
	- Evaluar futuros desarrollos en la cuenca.	•			
Situaciones de emergencia	- Medidas estructurales y no estructurales para la mitigación de inundaciones y sequías	•	x	x	x
	- Preparación en caso de desastres		•	•	x
Control y aplicación	- Estudio del estado del agua/base de datos (cantidad/calidad/socioeconómico)	•	•	x	x
	- Uso del agua y contaminación	•	•	x	x
	- Resolución de conflictos	•	•	x	
CONTROL Y EVALUACIÓN					
	- Actividades de recopilación de datos de agencias múltiples	•	x	x	x
	- Comunicación periódica con los grupos de interés	•			
	- Información dispuesta de manera que sea fácil de comprender para el grupo objetivo y que trate sus necesidades o preocupaciones	•			

Referencias y lecturas 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: Autorización y asignación de las aguas freáticas

Objetivos de aprendizaje:

- ③ Concientizar acerca de los beneficios de un sistema de derechos del agua freática.
- ③ Entender cómo se puede implementar un sistema de derechos del agua freática.
- ③ Comprender las principales interacciones en un sistema de derechos del agua freática.
- ③ Comprender la necesidad de vincular un sistema de derechos del agua freática con un sistema de derechos del agua superficial.

1. Introducción

Desde el principio, los recursos hídricos se han asignado en función del criterio social que asegura que el agua esté disponible para el consumo humano, el saneamiento y la producción de alimentos. El crecimiento de la población ha convertido a la escasez del agua en un problema importante en muchos países, y hoy en día la contaminación se encuentra más generalizada con la calidad del agua degradada, lo cual trae aparejada una menor disponibilidad de agua dulce. Como consecuencia, hay un uso más competitivo del agua: agua potable, riego, industria, medio ambiente, etc.

La mayoría de los países hoy designan a los recursos hídricos como si fueran de propiedad pública, y el gobierno tiene la responsabilidad general de la gestión de los recursos. El derecho de extraer (o desviar) y usar el agua (incluso las aguas freáticas) puede concederse a individuos, entidades públicas o corporaciones privadas, en ciertos términos o condiciones, y dichos derechos generalmente son emitidos por la autoridad de los recursos hídricos (o directamente por los tribunales de justicia). Un “derecho del agua” generalmente constituye el derecho a usar (pero no la propiedad de) el agua. Los subsidios para extraer y usar las aguas freáticas se instrumentan a través de permisos, licencias, concesiones o autorizaciones, generalmente llamados “derechos del agua” en el presente documento.

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

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

- ③ reducir la interferencia entre los pozos de extracción;
- ③ evitar conflictos contraproducentes que pueden surgir, y;
- ③ resolver las controversias emergentes entre los extractores vecinos.

No obstante, el desarrollo de un sistema estable de derechos del agua ofrece muchos más beneficios, ya que proporciona una base sólida para el desarrollo y la protección de los recursos hídricos y para la conservación de los ecosistemas acuáticos. Además, ciertos pasos para una gestión más integrada de los recursos hídricos sólo pueden tratarse de manera efectiva cuando se hayan definido adecuadamente los derechos del agua freática:

- ③ fomentar la participación de los usuarios del agua en la gestión de las aguas freáticas;
- ③ mejorar la eficiencia económica;
- ③ implementar los programas de gestión de demanda para reducir la extracción de agua freática;
- ③ recolectar de forma sistemática los cargos por extracción para obtener ganancia de la gestión de los recursos;
- ③ realizar posibles negociaciones posteriores de derechos de extracción para promover el uso más eficiente del agua;

Cuadro 5.1: Interdependencias de los usuarios

- El bombeo de las aguas freáticas por parte de un usuario puede disminuir el nivel freático y aumentar los costos de bombeo para todos los usuarios.
- La contaminación por parte de un usuario afecta a otros, especialmente a los que están ubicados río abajo.
- Estas interdependencias sugieren que si todos los usuarios siguen las reglas, mejoran el valor social de los recursos hídricos.

- ③ desarrollar el uso conjunto del agua superficial y subterránea.

La existencia de un derecho del agua freática no puede garantizar el suministro de agua de una cantidad y calidad estipuladas, por lo que se debería considerar prescribir el derecho en términos de una “participación en la capacidad de producción del acuífero” (a diferencia de una tasa de extracción específica). Sin embargo, ofrecen a los usuarios del agua mayor seguridad de suministro para fines de inversión y un activo valioso como garantía bancaria para obtener créditos de desarrollo.

3. ¿Qué implica un sistema de derechos del agua freática?

La extracción de agua y los derechos de uso deben ser un sistema integral y unificado que comprenda el agua freática y superficial. Parte del sistema debe hacerse en detalle suficiente para minimizar el conflicto entre los usuarios y

debe especificar la condición bajo la cual se extrae el agua freática, que puede incluir el tiempo, la tasa, el volumen y la prioridad que se aplica en caso de escasez.

Sin embargo, los usuarios del agua deben tener derecho a gozar de una razonable seguridad en su derecho continuo de extraer y usar el agua freática en beneficio de la estabilidad y para alentar inversiones. De este modo, se deben establecer los mecanismos judiciales o de revisión correspondientes para permitir que los usuarios del agua freática y otros afectados por los impactos puedan cuestionar y apelar decisiones.

La Tabla 5.1 resume las principales condiciones que se especifican generalmente en la extracción de agua freática y los derechos de uso.

Tabla 5.1: Términos y condiciones generalmente especificadas en los derechos de extracción y uso de agua freática (Nota informativa 5 de GW-Mate)

TÉRMINO O CONDICIÓN	COMENTARIOS
● duración del derecho	la flexibilidad de la asignación requiere alguna limitación de tiempo (por ejemplo, 5 años)
● punto de extracción y uso	deben estar especificados y pueden ser diferentes
● fin de uso	importante para distinguir los derechos de uso consuntivo y no consuntivo
● tasa de extracción	máximo anual específico junto con cualquier límite a corto plazo
● especificación de trabajos	detalles de profundidad, diámetro, conclusión, protección sanitaria, etc.
● requisitos medioambientales	especificación vinculada de ubicación/calidad de caudal de retorno
● costo del derecho	tarifa generalmente pagada por mantener y/o usar el derecho
● registro de transacciones	obligación de declarar la transferencia del derecho (cuando esté permitido)
● pérdida o reducción del derecho	confiscación sin compensación por el no uso o incumplimiento
● suspensión del derecho	como sanción o en emergencia sin compensación
● revisión del derecho	ajuste periódico con compensación de acuerdo con el suministro/la demanda
● renovación del derecho	facilidad para solicitar continuación antes del vencimiento

4. Asignación de aguas freáticas

4.1 ¿Cuáles son los principales criterios de asignación?

Los objetivos de asignación del agua deben ser claros e incluir factores económicos, sociales y medioambientales. Se necesitan los medios apropiados de asignación de recursos para lograr la asignación óptima del recurso. Hay varios criterios que se utilizan en la asignación del agua (Howe y cols. 1986):

- ③ Flexibilidad en la asignación del agua para que se pueda reasignar el recurso de uso a uso, de lugar a lugar, para más beneficios sociales, usos económicos y ecológicos mediante la revisión periódica, y evitar la perpetuidad en la asignación;
- ③ Seguridad de posesión para los usuarios establecidos, de modo que puedan tomar las medidas necesarias para que puedan 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 las demandas inesperadas.
- ③ Previsibilidad del resultado del proceso de asignación, de modo que se pueda materializar la mejor asignación y se minimice la incertidumbre (especialmente para los costos de transacción).
- ③ Los posibles usuarios deben percibir la equidad del proceso de asignación, al proporcionar ganancias de oportunidad equitativas a partir de la utilización del recurso para cada usuario posible.
- ③ Aceptabilidad política y pública, a fin de que la asignación ofrezca valores y objetivos, y por lo tanto, tenga la

aceptación de distintos segmentos de la sociedad.

- ③ Eficacia, a fin de que la forma de asignación cambie las situaciones no deseables existentes tales como el agotamiento del agua freática y la contaminación del agua, y avance para lograr los objetivos de políticas deseados.
- ③ Sostenibilidad y viabilidad administrativa, para poder implementar el mecanismo de asignación, y para permitir un efecto continuo y creciente de la política.

4.2 ¿Cómo se pueden administrar los derechos del agua freática?

Los derechos de las aguas freáticas deben incluirse en la gestión de los recursos hídricos superficiales bajo un simple sistema de asignación del agua. Se debe intentar integrar los sistemas de administración donde se separaron por diferentes motivos, o si es necesario introducir mecanismos de coordinación. De esta manera, se deben considerar las interacciones físicas entre los dos cuerpos de agua en la asignación de los recursos hídricos. Como resultado, las responsabilidades de la agencia que gestiona las aguas freáticas deben incluir acciones y eventos de recarga del acuífero.

Se debe alentar el uso conjunto del agua superficial y subterránea, y los sistemas de administración deben garantizar que:

- ③ los límites para el uso aceptable de las aguas freáticas estén claramente especificados, y;
- ③ el orden de prioridad de uso de los usuarios conjuntos (es decir, de ambas fuentes) se determine con respecto a otros usuarios que tienen sólo una fuente.

Tabla 5.2: Consideraciones especiales relacionadas con la administración de derechos del agua freática (Nota informativa 5 de GW-Mate)

CONSIDERACIÓN	COMENTARIOS
Técnica	
● problemas de calidad del agua freática	se tienen que considerar en términos de efectos posibles de una nueva extracción e impactos de descarga de aguas residuales
● el nivel de conexión del agua superficial	varía ampliamente y debe considerarse cuando se evalúan los efectos en terceros y en el medio ambiente
● reabastecimiento de recursos	algunos acuíferos han limitado la recarga actual y el uso de "aguas freáticas fósiles" requiere criterios especiales
● propósito doble de algunos pozos	es posible que las perforaciones de investigación deban utilizarse como pozos de producción de agua ya que la perforación exploratoria es demasiado costosa
Gerencial	
● comercio de perforación de pozos	regulación paralela requerida en vista de habilidades especiales necesarias y riesgo de contaminación causado por pozos de construcción inadecuada
● flexibilidad en la asignación del agua	debe suministrarse para tratar con la incertidumbre hidrogeológica y debe priorizar la reasignación de los recursos para el uso potable
● áreas de conservación de las aguas freáticas	es posible que deban designarse para mitigar la degradación debido a la extracción excesiva o a la amenaza de contaminación
● acuíferos transfronterizos	pueden llevar a desacuerdos entre los estados/naciones limítrofes sobre el comportamiento de los recursos y las prioridades de uso

La Tabla 5.2 resume los principales puntos a tener en cuenta cuando se administran los derechos del agua freática. Se debe evaluar el nivel de conexión de agua superficial para determinar si afecta a terceros (usuarios río abajo), y si permite garantizar el caudal intrínseco de los cursos de agua, los ecosistemas medioambientales y la sostenibilidad de los manantiales.

Para garantizar un mejor cumplimiento de los usuarios del agua, se debe acentuar la participación de los grupos de interés (Módulo 7) en paralelo con la gestión de la información (Módulo 11) a fin de brindar transparencia al proceso de asignación. El control del uso del agua y de los recursos hídricos (Módulo 9) también es fundamental para una mejor aplicación de la asignación del agua.

Cuadro 5.2 Consideraciones fundamentales:

Complejidades y obstáculos en la implementación:

- Muchas circunstancias históricas, sociales, ecológicas, económicas y políticas influyen en la explotación de las aguas freáticas.
- El complejo desafío de controlar el cumplimiento de los usuarios de las aguas subterráneas, de prestar atención a la capacidad institucional actual y el rol esencial que los usuarios mismos tienen que desempeñar.

Implementar un “entorno favorable” al:

- Reconocer que la administración de los derechos del agua se debe adaptar a las circunstancias locales específicas.
- Garantizar el apoyo político al nivel más alto, ya que los intereses económicos sólidos generalmente se ven afectados cuando se asignan o reasignan recursos hídricos.
- Pensar dos veces antes de solicitar enmiendas legales, para asegurarse de que no se pueda resolver ninguna deficiencia identificada sin el extenso proceso que implica la reforma legal.
- Comenzar con la definición de la política de recursos hídricos, que incluya el fundamento de una legislación de agua nueva/enmendada y un esbozo de cómo se tratarán los derechos de uso de agua existentes.
- Admitir que lo “bueno” viene antes que lo “perfecto”, y que un sistema de derechos del agua freática no tiene que ser absolutamente completo, pero sí tiene que ser factible.
- Estar convencido de que siempre habrá lugar para mejoras graduales; no es necesario esperar la ley perfecta ni la institución ideal para comenzar a trabajar.
- Aceptar que la tarea no puede llevarse a cabo de la noche a la mañana; la experiencia a nivel internacional ha demostrado que el diseño y la implementación de los sistemas de derechos de agua siempre es un esfuerzo prolongado.
- Involucrar a todos los participantes desde el inicio para garantizar que hagan completamente suyo el sistema introducido; deben participar tanto los sectores de usuarios del agua como el personal gubernamental que administra el sistema.
- Resaltar que los instrumentos reguladores por sí solos no bastan y que la administración de los derechos de agua requiere un equilibrio delicado de instrumentos reguladores, económicos y participativos.

Fuente: Batu, 1998

Se requiere una cantidad de herramientas de implementación, que se deben mantener lo más simple posible:

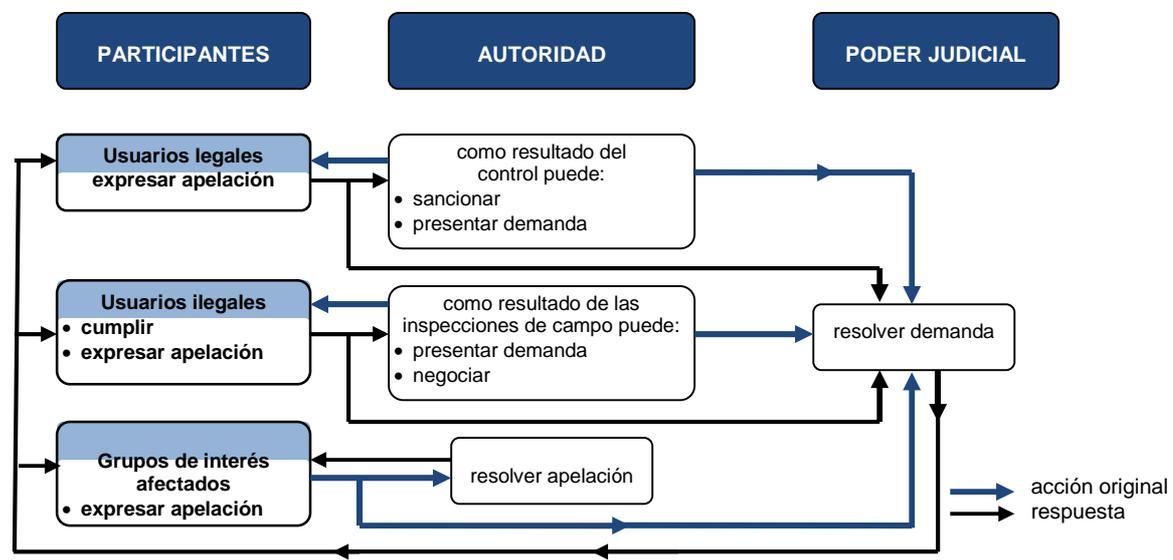
- ③ Instrumentos de planificación: hojas de cálculo de usuarios del agua y poblaciones contaminantes, y modelos

información fácil de comprender a los usuarios del agua.

- ③ Educación pública: para crear conciencia política y pública en general.

Los aspectos fundamentales que deben considerarse en la implementación de la

Figura 5.1: Principales interacciones en la introducción o consolidación de un sistema de derechos del agua freática (Nota informativa 5 de GW Mate)



de cantidad/calidad de acuíferos para dar prioridad a las áreas que deben controlarse.

- ③ Pautas de gestión: procedimientos para recibir, revisar y controlar las solicitudes.
- ③ Sistema de información: basado en software adecuado para gestionar solicitudes, controlar el cumplimiento de los usuarios, llevar a cabo un control de calidad operativo y proporcionar

asignación de las aguas freáticas (Cuadro 5.2) incluyen la complejidad del proceso de implementación, y el entorno favorable puede facilitar el cumplimiento de los usuarios.

En Kenia se ha demostrado que sólo el 10% de los usuarios del agua utiliza alrededor del 90% del agua superficial extraída. Por lo tanto, se adoptó un enfoque paso a 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 se tratarán más adelante. Este es el tipo de enfoque práctico necesario para asegurar que un sistema sea factible.

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

En la gestión de un sistema de derechos del agua freática, el participante más importante 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 su agua superficial dependiente. Otros grupos de interés (no sólo usuarios del agua, sino aquellos cuyos intereses puedan verse afectados) quizás también quieran expresar su opinión sobre una solicitud por un derecho de agua nuevo, presentar una queja o demanda contra un usuario existente o apelar decisiones.

La autoridad de recursos hídricos puede negarle al solicitante un nuevo derecho de agua o lo puede otorgar y registrarlo. Una vez que la solicitud se haya aprobado, el candidato se convierte en usuario legal que a menudo tendrá que pagar tarifas y cargos de acuerdo con los términos y las condiciones que corresponden al derecho. La autoridad de recursos hídricos debe llevar registros y controlar el cumplimiento a través de inspecciones de campo y otros medios. Al descubrir algún incumplimiento, la autoridad puede emitir una advertencia, imponer una sanción o buscar acción judicial si se comete un delito penal. Además, el sistema judicial puede recibir apelaciones del titular del derecho de agua o de terceros afectados. A fin de aligerar la carga del sistema judicial, las apelaciones pueden dirigirse en una primera instancia al funcionario con el cargo más alto en la autoridad de recursos hídricos.

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

- ③ Los mecanismos de resolución de conflictos sean bien aceptados, económicos y rápidos.
- ③ Las sanciones estén equilibradas para desalentar el incumplimiento, pero sin inhabilitar a los usuarios del agua.

- ③ El control sea realista y acorde con la capacidad institucional.
- ③ Los procedimientos de registro garanticen que haya copias disponibles completas para el escrutinio público.
- ③ Se limite la discreción de la autoridad del agua para desalentar la corrupción y reducir la burocracia.
- ③ Se enfrente con decisión el soborno de los usuarios y la corrupción de los administradores.

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

- ③ Los usos existentes deben ser efectivos y beneficiosos para obtener reconocimiento automático. Si no es posible calcular un balance preciso del agua freática, todos los usuarios deben recibir permisos de corta duración que se puedan revisar a la luz de información más confiable.
- ③ Los derechos consuetudinarios deben tratarse de manera global, ya sea reconocidos formalmente o compensados adecuadamente.
- ③ No sólo los usuarios ilegales tiene la culpa del estado insatisfactorio actual de las aguas freáticas; también pueden ser responsables administraciones de recursos hídricos anteriores debido a la falta de capacidad o tendencias corruptas.
- ③ No se tolerará ninguna excepción; todos los usuarios existentes del agua freática, incluidas las empresas de servicios públicos de suministro de agua, deben estar contemplados dentro de la ley.
- ③ La especificación de umbrales de tasas de extracción por uso del agua debe ser un proceso dinámico. Ciertos usos inferiores pueden quedar exentos de la burocracia de derechos de agua, pero la simple declaración de su existencia será útil para reconocer dichos usuarios legales, en caso de que finalmente se necesiten medidas más estrictas.

5. Asignación de recursos de aguas subterráneas no renovables

En caso de sistemas de acuíferos no renovables, la implementación de un sistema de derechos de extracción de agua freática es de suma prioridad. Debe ser coherente con la realidad hidrogeológica de los niveles de aguas subterráneas en continua declinación, los rendimientos de pozos posiblemente decrecientes y la calidad del agua freática con posible deterioro. Así, los permisos (para tasas específicas de extracción en ubicaciones específicas) deberán estar limitados a largo plazo, pero también sujetos a revisión y modificación inicial después de 5 a 10 años. En estos momentos se sabrá más sobre la respuesta del acuífero a la extracción a través del control operativo. Es posible que las reglas de uso establecidas por organizaciones comunales adecuadamente autorizadas puedan sustituir los permisos de extracción más formalizados desde el punto de vista legal.

Muchos acuíferos importantes que contienen grandes reservas de agua freática no renovable son transfronterizos, ya sea en un sentido nacional o entre provincias autónomas o estados en una única nación. En dichas circunstancias, habrá ganancias mutuas a través de la armonización de la legislación y las regulaciones relevantes de las aguas freáticas, en particular los sistemas de derechos de agua freática.

El sistema de asignación de agua debe prestar atención especial a:

- ③ los impactos de la nueva asignación de agua en los usuarios tradicionales de las aguas freáticas (pueden proporcionarse algunas compensaciones);
- ③ garantizar que queden en el sistema del acuífero reservas suficientes de agua freática extraíble de calidad aceptable;
- ③ las dificultades para estimar los impactos del agotamiento en un ecosistema determinado;
- ③ considerar “¿qué sucede luego?”, y después identificar y estimar la probable “estrategia de salida”; y
- ③ planear la reutilización del suministro de agua urbana, industrial y minera, y el riego agrícola cuidadosamente controlado.

6 Puntos del resumen:

El módulo ha tratado los siguientes temas:

- ③ Los beneficios de los sistemas de derechos del agua freática.
- ③ Los términos o condiciones de los sistemas de derechos del agua freática.
- ③ Los criterios que se deben usar para asignar los recursos.
- ③ La necesidad de gestionar los derechos del agua freática junto con el agua superficial.
- ③ El proceso de implementación de los derechos del agua freática en general y de las aguas freáticas no renovables en particular.

Referencias y lecturas 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/TOPI/CS/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

Derechos del agua freática y sistema de asignación

Objetivo: compartir la experiencia sobre la implementación y aplicación de los sistemas de asignación de agua freática

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

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

Informe: 30 minutos

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

Objetivos de aprendizaje

- ③ Comprender la diferencia entre los instrumentos económicos y financieros.
- ③ Entender cómo aplicar los instrumentos económicos y financieros para una mejor gestión de las aguas freáticas, que incluye:
 - Recuperación de costos.
 - Cambio de comportamiento.
 - Tratamiento de la equidad y pobreza.
 - Protección del medio ambiente.

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

Con la gestión mejorada de los recursos hídricos y la creación de nuevas estructuras de gestión, se presta más atención a la viabilidad financiera de los sistemas de gestión de los recursos hídricos y del uso de subsidios y cargos para cambiar la forma en que se utiliza el agua. Este módulo se enfoca en el uso de instrumentos financieros y económicos en la gestión de los recursos hídricos y cómo se pueden utilizar para contribuir a una gestión y un desarrollo más sostenibles de las aguas freáticas.

Relación entre el agua superficial y subterránea

Si bien los instrumentos económicos para gestionar el agua superficial y subterránea son similares, no son iguales como resultado de ciertas peculiaridades de las aguas freáticas:

- ③ costo relativamente alto y complejidad para evaluar el agua freática;
- ③ uso del recurso altamente descentralizado que incrementa los costos de control de la gestión;

- ③ invisibilidad de las aguas subterráneas para el público en general, y desfases con relación a los impactos del recurso;
- ③ diferentes impactos de la carga de contaminantes según la vulnerabilidad del acuífero;
- ③ desfases prolongados y casi irreversibilidad de la contaminación de la mayoría de los acuíferos.

Estas peculiaridades explican por qué las herramientas de gestión de las aguas freáticas generalmente están menos desarrolladas y aplicadas que aquellas del agua superficial. Sin embargo, con la escasez creciente de agua, el valor económico de las aguas freáticas y, por consiguiente, el beneficio para invertir en gestión, está aumentando.

Este módulo se centra en consideraciones económicas y financieras como una parte importante de la ecuación de la gestión de las aguas freáticas. 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 contribuir a la gestión del agua freática dentro de los principios de la GIRH.

2. Explicación de los instrumentos económicos y financieros

Los instrumentos económicos y financieros, definidos en términos sencillos a continuación, afectan al comportamiento (a través de la creación de incentivos y la falta de incentivos relacionados con las actividades de gestión de los recursos hídricos y con el uso del agua) y determinan en gran medida la viabilidad financiera de las actividades para la gestión de los recursos hídricos y la viabilidad de las instituciones de gestión de los recursos hídricos.

2.1 Instrumentos económicos.

Básicamente, los instrumentos económicos son cargos impuestos para alentar a las personas a que cambien su comportamiento en una dirección en particular (Tabla 6.1). No son cargos para recuperar los costos. Las tarifas, subsidios, subsidios cruzados y otras medidas basadas en incentivos tales como la negociación de agua y los cargos por efluentes se utilizan generalmente para promover la asignación eficiente y el uso de los recursos hídricos. Los instrumentos económicos también pueden utilizarse para alcanzar los objetivos más amplios de la asignación equitativa y del uso sostenible de los recursos hídricos. Estos instrumentos funcionan mejor cuando complementan (y son complementados por) las políticas y los instrumentos reguladores, institucionales, técnicos y sociales adecuados.

Por ejemplo:

- ③ Si bien las aguas freáticas podrían utilizarse ampliamente en empresas de alto valor y generar más ingreso, trabajo y riqueza, muy a menudo se emplean en usos económicos de bajo valor y así se sobreextraen, lo que origina tensión social entre los usuarios.
- ③ Es posible que los grupos pobres o indigentes (¿mujeres?) no puedan acceder a las aguas freáticas para propósitos de desarrollo y subsistencia porque el costo de extracción es demasiado alto.

En ambos casos, los instrumentos económicos pueden ayudar a corregir un problema percibido. En el primer ejemplo, las tarifas altas pueden proporcionar incentivos para asignar y/o usar las aguas freáticas con mayor eficiencia, a fin de ayudar a estabilizar los niveles del agua freática al reducir la sobreextracción y destinar el agua a actividades de más alto valor.

En el segundo ejemplo, los subsidios dirigidos (energía subsidiada, o bombas o tarifas de agua reducidas) pueden proporcionar el incentivo para los pobres o indigentes para acceder a las aguas freáticas para realizar actividades agrícolas y de otro tipo de desarrollo.

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

2.2 Instrumentos de gestión

Los instrumentos financieros se refieren a los mecanismos que se utilizan para recaudar dinero a fin de financiar actividades (tanto de naturaleza operativa como de capital). Estos instrumentos se ocupan principalmente del ingreso que se generará y de cómo éste se relaciona con los costos financieros de las actividades que se deben financiar.

Estas distinciones, que no son tan claras como las definiciones anteriores, implican que tanto los objetivos financieros como los económicos pueden cumplirse en un único instrumento, las tarifas del agua son un buen ejemplo. Una empresa de servicios públicos de agua con orientación comercial fijará tarifas para cumplir sus objetivos financieros de funcionamiento,

¿Puede vincular el cambio de comportamiento con

Tabla 6.1. Instrumentos económicos y cambio de comportamiento

3 Cambio de comportamiento requerido	
<p>Costos de extracción:</p> <ul style="list-style-type: none"> ③ Tarifas de extracción; ③ Precios indirectos, por ejemplo, energía; ③ Mercados de aguas freáticas. 	<p>Conservación de los recursos hídricos;</p> <ul style="list-style-type: none"> ③ Reducción de los comportamientos de contaminación; ③ Mayor uso eficiente; ③ Valor de uso económico mayor; ③ Mejora de la equidad social; ③ Protección del medio ambiente.
<p>Costos operativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ③ Subsidios para las medidas de ahorro de agua; ③ Subsidios para el tratamiento de las aguas residuales; ③ Subsidios para la tecnología de riego que reduce el deslave de agroquímicos. 	

mantenimiento y costos de capital con cobertura adecuada. El rendimiento de la empresa de servicios públicos se medirá a través de diversos indicadores financieros, tales como la ganancia neta, la rentabilidad del capital, la capacidad crediticia (capacidad del servicio de la deuda), etc. En cambio, el punto de vista económico de las tarifas es evaluar su contribución a una combinación de objetivos de los sectores relacionados con el agua, no limitarse solamente a garantizar la prestación adecuada del servicio a los consumidores del agua existentes, sino también a solicitar mejoras en la equidad (incrementar el acceso de las personas al agua) y a garantizar la sostenibilidad medioambiental.

Un organismo regulador independiente con facultades adecuadas es la mejor manera de garantizar que la orientación financiera de una empresa de servicios públicos de agua esté moderada desde el punto de vista del interés económico o nacional.

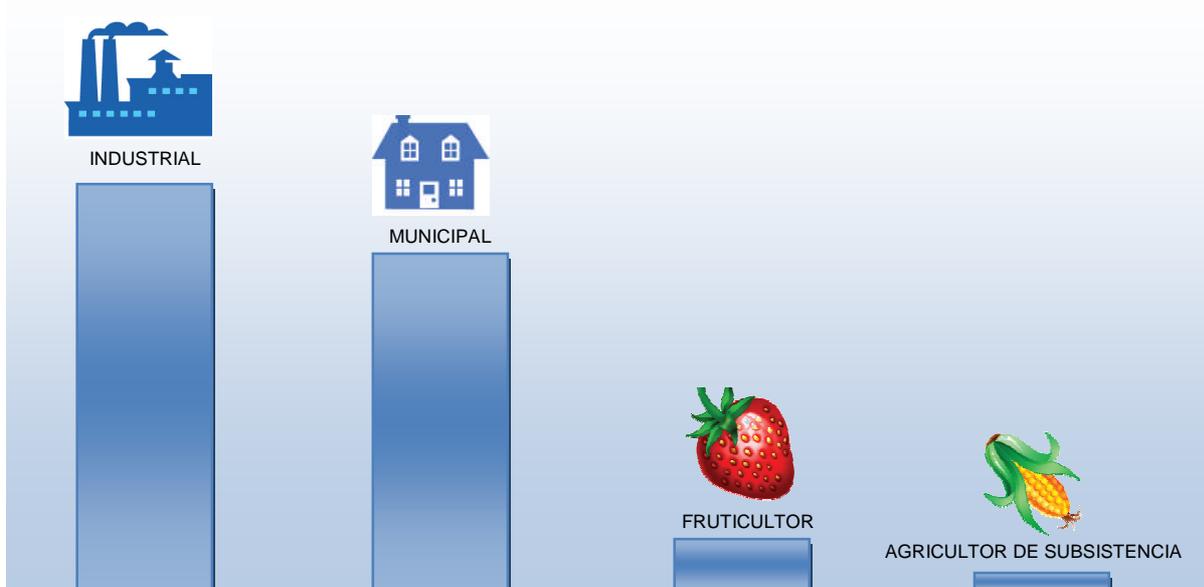
2.3 Valor del agua.

El valor del agua en usos alternativos es importante para la asignación racional del agua como un recurso escaso, ya sea por medios reguladores o económicos (Fig. 6.1).

El valor está relacionado con la disponibilidad y el beneficio esperado. Cuando el agua freática o superficial de buena calidad es abundante, tiende a subestimarse. En situaciones de escasez, ya sea por ausencia o contaminación, el valor para el usuario es mucho mayor y puede estar vinculado con los resultados económicos del uso o del valor de uso social y de salud.

La gestión de los recursos hídricos tiene un costo y generalmente se ha analizado que es mejor comenzar a mejorar la gestión de los

Figura 6.1 Valor económico del agua por uso.



Cuadro 6.1: El uso de instrumentos económicos y financieros es importante para la gestión de aguas freáticas dado que:

- como el agua es cada vez más escasa, su valor económico aumenta;
- los instrumentos económicos y financieros se pueden utilizar para lograr las metas de la gestión en términos de eficiencia, equidad y sostenibilidad;
- sin viabilidad financiera para los proyectos y decisiones relacionados 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 sólo 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 de los recursos hídricos y se están transformando en objetivos sociales, no sólo para las generaciones actuales sino también para las futuras.

recursos hídricos en aquellas situaciones donde ya se experimentan problemas. Aquí se reconoce el valor del agua debido a la competencia, escasez o contaminación y, por lo tanto, las intervenciones de gestión probablemente se acepten y sean exitosas.

recursos hídricos. Se torna necesario cuando la extensión del suministro ya no es una opción viable. En el caso de las aguas freáticas, el valor económico de los usos alternativos del agua provee una guía para las personas encargadas de la toma de decisiones en la priorización de la inversión. En países donde existe una abundancia de

Tabla 6.2 Medición de los costos del uso de las aguas freáticas.

Costos del suministro de agua				Costos de oportunidades sociales	Costos externos
COSTOS DE EXTRACCIÓN DEL AGUA FREÁTICA	COSTO DE CAPITAL	COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	COSTOS DE ADMIN. DE RECURSOS	VALOR NO PERCIBIDO DE LOS USOS ALTERNATIVOS	VALOR IN SITU (costo de intrusión salina, hundimiento de la tierra, 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 por citar, por ejemplo, que el agua es un regalo de Dios. La aplicación de un precio al agua no sólo se hace por la recuperación de costos, sino que es igualmente importante como herramienta para cambiar el comportamiento y para garantizar una distribución más equitativa del agua. Los componentes del costo del agua se muestran en la Tabla 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, entonces no podrá obtenerse el máximo beneficio de los recursos hídricos.

¿Cuándo el agua es un bien económico?

Tratar al agua como bien económico es esencial para la toma de decisiones lógicas acerca de la asignación del agua entre sectores diferentes y competitivos, especialmente en un entorno de escasez de

recursos hídricos, es menos probable que el agua se trate como un bien económico, ya que la necesidad de racionalizar el uso del agua no es tan urgente. Sin embargo, el agua tiene un rol muy importante en el desarrollo económico que no se puede ignorar.

¿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 alcanzar metas sociales de equidad, alivio de la pobreza y cuidado de la salud. En países donde existe una abundancia de recursos hídricos, existe una mayor tendencia a tratar al agua como un bien social para cumplir con los objetivos de equidad, de alivio de la pobreza y de salud, por encima de los objetivos económicos. La seguridad y la protección del medio ambiente también son parte de la consideración del agua como un bien social.

En la mayoría de las tradiciones, el agua se respeta como un importante recurso y se implementan sistemas para gestionar los



recursos hídricos y la escasez del agua a nivel comunitario.

4. Aplicación de los instrumentos económicos y financieros

Uso más racional del agua

La 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 es el caso si hay reclamos contrapuestos: agua para consumo humano, para la agricultura y para la industria. En un contexto de escasez, la competencia entra en juego donde se paga un precio.

La gestión de los recursos hídricos se caracteriza por monopolios e intereses concedidos, por lo que son necesarios sistemas reguladores 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 el costo de gestionar, limpiar y llevar el agua a sus casas, granjas o industrias.

Instrumentos

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.


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

Los instrumentos financieros ayudan a tomar decisiones de inversión específicas. Una manera de mejorar la eficiencia del agua es invertir y mejorar la infraestructura. Esto también puede conducir a una mayor atención a las operaciones y el mantenimiento (O&M) y a una reducción de 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 para este propósito son el análisis de costo-beneficio, el costo del ciclo de vida y un análisis con múltiples criterios.

Los principios económicos relacionados, que también se utilizan en la economía del agua y del medio ambiente, son la recuperación de costos y quien contamina paga. Estos se basan en el objetivo de recuperar costos de aquellos que reciben el beneficio. El usuario del agua recibe el beneficio del acceso 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 medioambiental y el costo de la agencia de gestión que controla al contaminador.

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

③ Precios directos de las aguas freáticas a través de tarifas de extracción de recursos

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 de las aguas freáticas para la agricultura (suele ser el consumidor más grande), por lo que el control del uso para el 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 del agua mediante técnicas de detección remota.

③ Precios indirectos de las aguas freáticas mediante tarifas de energía

El mayor costo en la extracción de agua freática (una vez que se instala un pozo) es la energía necesaria para extraer el agua. Este costo no sólo 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 freática. 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 freática en general no suele ser la mejor opción, ya que la extracción excesiva de agua freática puede erosionar la disponibilidad del recurso de los mismos agricultores a largo plazo.

③ **Mercados de aguas freáticas**

Los mercados del agua han sido respaldados para mejorar la gestión de los recursos, especialmente con respecto al uso más eficiente del agua, y la asignación dentro y entre los sectores. Son más flexibles que los instrumentos de comando y control 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 freáticas

¿Cómo se debe financiar la gestión de las aguas freáticas y qué control debe haber sobre las tarifas del agua? Esta no es una pregunta fácil de responder y, si bien las situaciones son diferentes, el desafío es si los sistemas de gestión financiera elegidos son adecuados para cumplir con los objetivos de la gestión de los recursos hídricos; 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 del agua, será más fácil generar recursos financieros para la gestión de los recursos hídricos. En este caso, los costos de la gestión de los recursos hídricos se incorporarán al sistema de tarifas del agua, y las funciones relacionadas con la gestión de los recursos hídricos tendrán respaldo financiero. En otras circunstancias, la financiación de la gestión de los recursos hídricos no puede llevarse a cabo por medio de las tarifas del agua, pero sí principalmente por medio de los gastos fiscales, que provienen del sistema general de impuestos.



¿Quién paga la gestión de los recursos hídricos freáticos 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 del agua paguen por ciertos beneficios privados del agua que obtienen, mientras que el sector público principalmente financie las actividades y funciones vinculadas a 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 el 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 provisión de la gestión de los recursos hídricos 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 de los recursos hídricos probablemente sea más efectivo en términos de eficiencia, equidad y sostenibilidad para la gestión de los recursos hídricos.

6. ¿Qué pasos se necesitan para presentar los instrumentos económicos para la gestión de las aguas freáticas?

Un primer paso es analizar si la situación es tal como para garantizar el establecimiento de un sistema expandido de gestión de los recursos hídricos para incluir 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 combinaciones posibles. Además, debe considerar los costos recurrentes a largo plazo y la capacidad institucional (para administración, control, 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 aguas freáticas.

El elemento más fundamental para el funcionamiento de los instrumentos económicos es asegurar que el sistema propuesto es viable y **aplicable**.

El uso de las aguas freáticas es una actividad descentralizada en la que normalmente se involucran varios usuarios privados, que perforaron sus propios pozos, instalaron sus propios equipos y siguen sus propios esquemas de bombeo. En el caso de los principales 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 de las aguas freáticas y al promover la participación de los grupos de interés 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 ayudar a controlar la contaminación de las aguas freáticas?

Por lo general, el instrumento indicado para disminuir la contaminación del agua es el principio “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 de las aguas

Tabla 6.3: Ejemplos de instrumentos económicos y financieros que se aplican en la gestión de los recursos hídricos

Función	Instrumentos financieros/objetivo	Instrumentos económicos/objetivo
Asignación de los recursos hídricos.	Cargo por permisos, cargo por volumen de agua sin procesar. Administración de recuperación de costos; gestión de la cuenca de recuperación de costos; inversión de recuperación de costos; control de recuperación de costos.	Cargo por volumen/uso. Incentivos por eficiencia o consideraciones de equidad.
Control de la contaminación	Cargo por permisos, cargo por contaminación. Administración de la recuperación de costos; control de la recuperación de costos; limpieza medioambiental de la recuperación de costos.	Cargos relacionados con el volumen y la calidad. Requisito de autocontrol. Sancionar por la mala calidad y la descarga de mucho volumen.
Controlar el uso del agua, la contaminación del agua, el cumplimiento, los recursos hídricos.	% de cargos por agua sin procesar y contaminación. Recuperación de costos	Sanciones. Para garantizar el cumplimiento.

freáticas, en especial el intervalo de los impactos, la persistencia de algunos contaminantes del agua freática 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 freática.

Otro tema importante es el control de contaminación difusa del cultivo agrícola. Esto puede tener un importante impacto negativo en la calidad del agua freática debido al filtrado de agroquímicos. A menudo, el control de la contaminación se gestiona en una agencia independiente del agua. Esto puede ser problemático si no se presta demasiada atención a las aguas freáticas.

Instrumentos económicos y funciones de la gestión de los recursos hídricos

Una consideración importante para establecer tarifas es una justificación de los costos cargados y la transparencia en lo que constituye los costos de gestión, los costos de control, etc. Los costos de funcionamiento del sistema de gestión de los recursos hídricos deben analizarse con cuidado y justificarse en base a las actividades y al esfuerzo involucrados. 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 es un acuerdo del gobierno para subsidiar la cuenca para el desarrollo o por 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 de los recursos hídricos se limitará a aquellas actividades de prioridad económica.

Cuadro 6.2: Preguntas clave para aclarar sobre

- ¿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 de gestión de recursos hídricos local 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 guardabosques (administrador del agua). Con frecuencia, las funciones de gestión de los recursos hídricos se desarrollan en una agencia que tiene otras funciones tales como riego o servicios de suministro de agua. Esto inmediatamente genera un conflicto de interés que puede dar como resultado la falta de confianza o cooperación de otros sectores. En estos casos, es aconsejable proteger las funciones de la gestión de los recursos hídricos y mantenerlas separadas de las otras funciones desde el punto de vista financiero y desde una perspectiva de toma de decisiones.

7. Puntos para recordar

- ③ Las herramientas económicas son un instrumento esencial en la gestión de las aguas freáticas.
- ③ La recuperación de costos es un componente de equidad y fundamental para las instituciones efectivas de gestión de los recursos hídricos.
- ③ La buena aplicación de las herramientas financieras y económicas puede contribuir al desarrollo de los servicios.

Referencias y lecturas web

Cap-Net 2008. Economics in sustainable water management. Manual de capacitación y guía para los moderadores disponibles 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/TOPI/CS/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 la aplicación de instrumentos económicos y financieros en la gestión de las aguas freáticas.

Actividad: 90 minutos: 60 minutos de trabajo de grupo, 30 minutos de informe y análisis

Grupo 1: analizar cómo aplicar los instrumentos financieros para la recuperación de costos en aguas freáticas en base a su experiencia. En particular:

- ¿Qué costos de gestión de las aguas freáticas deben recuperarse y quién debe pagarlos?
- ¿Qué condiciones debe haber en el lugar 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 viable?
- ¿Qué otros mecanismos puede usar para cambiar el comportamiento y obtener el resultado que desea?

Informe: 30 minutos

Módulo 7: Participación de los grupos de interés en la gestión de las aguas freáticas

Objetivos de aprendizaje:

- ③ Identificar y clasificar los grupos de interés.
- ③ Considerar las diferentes estructuras y responsabilidades de los grupos de interés en la gestión de las aguas freáticas.
- ③ Conocer cómo mantener la participación de los grupos de interés a través del tiempo.

1. ¿Por qué deben participar los grupos de interés?

Este módulo brinda una perspectiva general sobre cómo deben involucrarse los grupos de interés en la gestión de los recursos hídricos y describe cómo identificar y movilizar grupos de interés. Además, analizamos las estructuras de los grupos de interés 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 los grupos de interés deben tener voz y voto en la gestión de los recursos hídricos de los que dependen 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 los grupos de interés es que sólo su interés en el sistema de gestión de las aguas freáticas y su aceptación posibilitarán la implementación.

Los grupos de interés **quieren** participar porque:

- ③ Tienen un interés importante en los recursos de un acuífero específico que quieren proteger o hacer progresar. Esto puede ser porque usan las aguas freáticas, porque practican actividades que pueden contaminar el agua freática o porque están preocupados por la disponibilidad de las aguas freáticas y la gestión medioambiental.

Los grupos de interés **deben** participar porque:

- ③ Las decisiones de gestión tomadas unilateralmente por la agencia reguladora sin consenso social a menudo son imposibles de implementar. Las actividades esenciales de gestión (tales como control, inspección y cobro de tarifas) pueden realizarse de manera más efectiva y económica mediante esfuerzos cooperativos y cargas compartidas. La integración y coordinación de las decisiones relacionadas con los recursos de aguas superficiales y subterráneas, el uso de la tierra y la gestión de desechos son posibles a través de la cooperación de los grupos de interés. Para la gestión de grupos de interés de acuíferos más pequeños puede ser la única opción realista.

Otros **beneficios** surgen de la participación de los grupos de interés:

- ③ Toma de decisiones informadas porque los grupos de interés con frecuencia poseen bastante información que puede beneficiar a la gestión de las aguas freáticas.
- ③ Prevención de conflictos mediante el desarrollo de consenso e intercambio de información.
- ③ Beneficios sociales, porque tienden a promover la equidad entre los usuarios.
- ③ Beneficios económicos, porque tienden a optimizar el bombeo y a reducir los costos de energía.
- ③ Beneficios técnicos, porque generalmente conducen a mejores cálculos para la extracción de agua.



Claramente, la estrategia de compromiso de los grupos de interés es un componente

integral de la gestión de las aguas freáticas y un evento excepcional.

2. Identificación de grupos de interés clave.

¿Quién es un grupo de interés? Es muy fácil abrumarse por la cantidad posiblemente grande de grupos de interés que demuestran interesarse en el agua. Por lo tanto, es importante observar cuidadosamente a quiénes deben involucrarse y por qué.

El análisis de los grupos de interés comprende esencialmente tres pasos:

- ③ Identificar a los grupos de interés clave de la amplia variedad de grupos e individuos que podrían afectar o verse afectados por los cambios en la gestión de los recursos hídricos.
- ③ Evaluar los intereses de los grupos de interés y el posible impacto de las decisiones de la gestión de las aguas freáticas en dichos intereses.
- ③ Evaluar la influencia e importancia de los grupos de interés identificados.

Dicho análisis debe estar vinculado con el desarrollo de un proceso institucional de compromiso a largo plazo con los grupos de interés en la gestión de las aguas freáticas (consultar la Sección 4 de este módulo).

Paso 1: identificación de grupos de interés clave

El primer paso es identificar y reunir a los grupos de interés en la zona de gestión de las aguas freáticas.

- ③ ¿Quiénes son los posibles beneficiarios?
- ③ ¿Quiénes podrían verse afectados negativamente?
- ③ ¿Se han identificado los grupos vulnerables que pueden verse afectados?
- ③ ¿Se han identificado a los partidarios y oponentes de los cambios en los

sistemas de gestión de los recursos hídricos?

- ③ ¿Se han identificado y representado adecuadamente los intereses de los géneros?
- ③ ¿Cómo son las relaciones entre los grupos de interés?

Las respuestas a estas preguntas conforman una lista simple, que constituye la base del análisis de los grupos de interés. Como se mencionó anteriormente, no todos los grupos de interés quieren o deben estar involucrados en la gestión de las aguas freáticas. Un propósito del análisis de los grupos de interés es garantizar que los administradores de las aguas freáticas comprendan correctamente los riesgos de los diferentes grupos de interés, dónde desean participar y cuáles son sus expectativas y capacidades.

Un problema común, especialmente con las aguas freáticas, es definir los límites del sistema. El agua afecta a la sociedad de muchas maneras y el desarrollo socioeconómico de un acuífero importante en un país puede afectar a los grupos de interés a escala nacional e incluso internacional.

Un inventario real de los grupos de interés es fundamental y no debe subestimarse. También es importante tener en cuenta que, para muchos grupos de interés, el inventario es el primer contacto que tienen con los administradores de recursos hídricos. A menudo, las extracciones de agua freática no se controlan y la visita de un organismo gubernamental no siempre se considera positiva.

Paso 2: evaluar los intereses de estos grupos y el posible impacto del proyecto sobre dichos intereses

Una vez identificados los grupos de interés clave, se puede considerar el posible interés que estos grupos o individuos pueden tener en las aguas freáticas (Tabla 7.1). Las preguntas a responder para evaluar los intereses de los diferentes grupos de interés incluyen:

- ③ ¿Cuáles son las expectativas de los grupos de interés?
- ③ ¿Qué beneficios probablemente resulten para el grupo de interés?
- ③ ¿Qué recursos posiblemente pueda y desee movilizar el grupo de interés?
- ③ ¿Qué intereses del grupo de interés entran en conflicto con la gestión de las aguas freáticas y los objetivos de la GIRH?



Tabla 7.1. Rango posible de intereses y actividades de los grupos de interés de aguas freáticas

SECTOR	TIPOS DE USO DEL AGUA	PROCESOS DE CONTAMINACIÓN	OTRAS CATEGORÍAS
Rural	doméstico rural; cría de ganado; agricultura de subsistencia; riego comercial.	eliminación de desechos de viviendas, desagüe del corral; cultivo intensivo; riego con aguas residuales;	contratistas para perforaciones; establecimientos educativos; asociaciones profesionales; periodistas/medios de comunicación.
Urbano	empresas de servicios públicos de suministro de agua; suministro privado.	aguas residuales urbanas; eliminación/reutilización; vertederos municipales.	
Industria y minería	compañías de autoabastecimiento.	descarga de desagües/aguas residuales; eliminación de desechos sólidos; instalaciones de almacenamiento de químicos/aceites.	
Turismo	hoteles y campamentos.	descarga de aguas residuales; eliminación de desechos sólidos.	
Medio ambiente	ecosistemas de ríos/pantanos; lagunas costeras.		

Al evaluar los intereses de los diferentes grupos de interés, es importante tener en cuenta que algunos grupos pueden tener objetivos e intereses ocultos, múltiples o contradictorios que buscarán promover y defender.

Paso 3: evaluación de la influencia e importancia de los grupos de interés

En el tercer paso, la tarea es evaluar la influencia e importancia de los grupos de interés identificados en los pasos anteriores. La influencia se refiere al poder que tienen los grupos de interés, como el control formal del proceso de la toma de decisiones o puede ser informal en el sentido de obstaculizar o facilitar la implementación de los procesos de gestión de las aguas freáticas.

freáticas. Algunos grupos de interés muy importantes pueden tener muy poca influencia y viceversa.

Para evaluar la importancia e influencia del grupo de interés, intente evaluar:

- ③ El poder y el estado (político, social y económico) del grupo de interés.
- ③ El grado de organización del grupo de interés.
- ③ El control que tiene el grupo de interés sobre los recursos estratégicos.
- ③ La influencia informal del grupo de interés (conexiones personales, etc.).
- ③ La importancia de dichos grupos de interés para el éxito de la gestión de las aguas freáticas.

Tanto la influencia como la importancia de los diferentes grupos de interés se pueden

Tabla 7.2. Categorías de grupos de interés

A. Gran interés/importancia, Gran influencia	B. Gran interés/importancia, Poca influencia
Estos grupos de interés son la base para una coalición efectiva de respaldo.	Estos grupos de interés requieren atención especial si se protegerán sus intereses.
C. Poco interés/importancia, gran influencia	D. Poco interés/importancia, Poca influencia
Estos grupos de interés pueden influir en los resultados pero las prioridades no se relacionan con la gestión de las aguas freáticas. Pueden ser un riesgo u obstáculo para progresar.	Estos grupos de interés son de menor importancia para el proyecto.

Los grupos de interés que son importantes a menudo son los que se benefician de las aguas freáticas o cuyos objetivos convergen con los objetivos de la gestión de las aguas

clasificar mediante escalas simples y asociaciones entre sí. Este ejercicio es un paso inicial para determinar la estrategia apropiada para la participación de los

diferentes grupos de interés. Como sucede con el segundo paso, a fin de garantizar que la evaluación sea lo más precisa posible, es preferible trabajar con consultas “en el terreno”.

Un problema es el de la representación. Es imposible consultar a todos y para las estructuras formales de los grupos de interés es necesario que la representación sea legítima.

Es particularmente importante identificar los grupos de interés gubernamentales (ver a continuación) que tengan influencia o impacto en la gestión de las aguas freáticas como la agricultura (uso de la tierra), medio ambiente (uso de la tierra, gestión de la contaminación, salud de los ecosistemas) para comprometerlos en el desarrollo e implementación de estrategias.

3. Funciones de los grupos de interés en la gestión de las aguas freáticas

Existen muchas maneras en que los grupos de interés pueden participar en la gestión de las aguas freáticas y sistemas de acuíferos. La Tabla 7.3 ofrece un resumen de las posibles funciones que se pueden realizar y los niveles de gestión a los que generalmente corresponden estas funciones. Los enfoques

varían de acuerdo con los intereses específicos de los grupos de interés y la naturaleza de los derechos de la tierra y del agua en la zona involucrada.

Para garantizar la titularidad de las decisiones de los grupos de interés, la participación debe comenzar cuando se identifican y perfilan por primera vez los asuntos y preocupaciones, y después debe continuar con las etapas de planificación, implementación y control de la gestión.

Uno de los desafíos más difíciles en la gestión participativa de aguas freáticas 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 aún pueden verse seriamente afectados por las decisiones de gestión, como los empleados en empresas agrícolas o industriales y en ONG medioambientalistas que representan los intereses de la conservación de los pantanos. En países donde se han desarrollado reformas para los recursos hídricos y se han revisado las leyes del agua, a menudo se descubre que los grupos de interés se identifican en la ley del agua y que tienen la posibilidad de contribuir en la gestión de los recursos hídricos a través de estructuras legales de grupos de interés. Esto proporciona una plataforma importante para la participación y colaboración formales con las organizaciones de gestión de los recursos hídricos del gobierno.

Tabla 7.3 Resumen de las funciones que realizan comúnmente los grupos de interés en esquemas participativos de administración y gestión de las aguas freáticas.

FUNCIONES	Nivel en el que se realizó la función	
	Asociación de usuarios del agua	Organización de acuífero o cuenca
poseer derechos de agua freática	Sí	
mantener el suministro/la distribución de agua freática	Sí	
cobrar cargos de uso del agua en el nivel de distribución	Sí, x	
realizar control operativo de las aguas freáticas	Sí, +	
establecer reglas vinculantes sobre el uso del agua	Sí, x	Sí, x
emprender el control del uso de las aguas freáticas	Sí, x +	Sí, x +
participar en el establecimiento de criterios/objetivos		Sí, +
formular/implementar planes de gestión de acuíferos		Sí, +
implementar medidas de protección para las aguas freáticas		Sí, x +
resolver conflictos por las aguas freáticas		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 la agencia reguladora del agua.

El gobierno como grupo de interés

La coordinación intersectorial merece una mención especial en la participación de los grupos de interés. La coordinación entre los diferentes sectores con frecuencia supone la cooperación, o al menos, el intercambio de información, entre los diferentes ministerios y departamentos gubernamentales.

Por lo tanto, para lograr un enfoque integrado de la gestión de los recursos hídricos es esencial coordinar la gestión de las aguas freáticas con otros ministerios, ya sea a través de estructuras interministeriales o directamente con los departamentos locales correspondientes de otros ministerios. Esta coordinación, en muchos casos, es necesaria en paralelo con la gestión de la cuenca hidrográfica en la que puede haber representantes de los ministerios.

Como se indicó en la Figura 7.1, los comités interministeriales se ubican entre las columnas para los grupos de interés y los organismos gubernamentales. Esto se debe a que muchas organizaciones gubernamentales pueden gestionar los recursos hídricos, los usuarios de los recursos hídricos o son responsables de áreas del programa que impactan directamente en la gestión de los recursos hídricos. Los gobiernos locales son, en muchos casos, responsables del suministro del agua y del saneamiento, por lo que se encuentran en la categoría de usuario del agua. Al mismo tiempo, el gobierno local es, obviamente, un grupo de interés importante

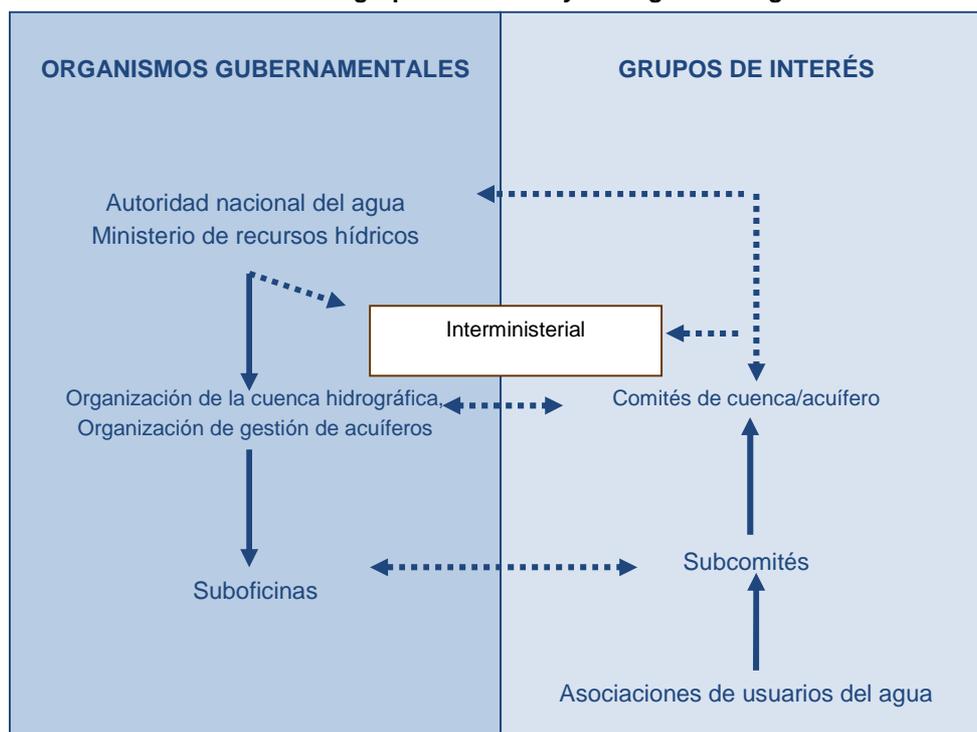
cuando se trata de la asignación de los recursos hídricos o de la planificación de la cuenca para el desarrollo, y puede tener responsabilidades locales en la gestión de las aguas freáticas.

La Agencia del Medio Ambiente es otro ejemplo porque con frecuencia es responsable de la gestión de la contaminación de los recursos hídricos. La organización de gestión de aguas freáticas entonces debe actuar como grupo de interés que influya en la manera en que la Agencia del Medio Ambiente establece políticas e implementa este programa. La agricultura puede establecer políticas y programas para la gestión de la tierra, el cultivo o el riego que afectan directamente la gestión de los recursos hídricos en una cuenca y, nuevamente, la OCH debe verse como un grupo de interés en las decisiones políticas del Ministerio de Agricultura.

4. Mecanismos institucionales para la participación de los grupos de interés en la gestión de las aguas freáticas

La participación de los grupos de interés y de la comunidad en la gestión de las aguas freáticas debe ocurrir en varios niveles

Figura 7.1: Posibles vínculos entre los grupos de interés y los organismos gubernamentales



territoriales, desde el pozo individual hasta el sistema de acuíferos, e incluso a nivel de la cuenca o nacional. Se debe alentar en todos los niveles donde los grupos de interés pueden hacer una importante contribución a la conservación y protección de las aguas freáticas y es probable que se integre con la gestión de los recursos hídricos superficiales en muchas situaciones.

En algunos países las entidades locales han existido desde tiempos inmemoriales, ocupándose de distribuir el agua freática de pozos o manantiales a sus miembros (principalmente para riego), cobrar cargos operativos, mantener la infraestructura y 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 conceder reconocimiento conforme a la ley para facilitar su trabajo y permitirles entablar relaciones contractuales con agencias reguladoras locales del agua y la tierra.

Las reformas del sector relacionado con el agua sujetas a la GIRH con frecuencia identifican las estructuras de los grupos de interés (tales como las Asociaciones de usuarios del agua) y les adjudican responsabilidades y roles específicos en la gestión de aguas superficiales y subterráneas. En el caso de las aguas freáticas, es posible que haya una necesidad específica de una organización para la gestión de grandes acuíferos, especialmente aquellos que están en peligro. Sin embargo, la realidad en la mayoría de las situaciones es que la gestión del agua freática se incorpore en los sistemas de gestión de recursos hídricos superficiales tales como las organizaciones de cuencas hidrográficas que son consistentes con la filosofía de gestión del agua como un recurso.

En algunas reformas del sector relacionado con el agua, los grupos de interés han delegado la autoridad de asignación del agua a nivel local y también puede estar representada en niveles superiores de supervisión de la Autoridad nacional del agua (Fig. 7.1). En otros países, los grupos de interés sólo tienen una función de asesoramiento. Formalizar la participación de los grupos de interés es particularmente importante porque una estructura formal de grupos de interés facilita el trabajo del administrador de los recursos hídricos, al disminuir la necesidad de la movilización continua de los grupos de interés y al

garantizar un vínculo formal y regular para los grupos de interés.

No hay ninguna guía para saber cómo construir la estructura de la representación de los grupos de interés. La Figura 7.1 muestra los posibles vínculos entre los organismos gubernamentales y las organizaciones de los grupos de interés en diferentes niveles. Cuando sea posible y apropiado, las aguas superficiales y subterráneas deben administrarse en las mismas estructuras.

Es importante aclarar primero los roles y las responsabilidades de las estructuras de los grupos de interés en el proceso de gestión de los recursos hídricos. Por ejemplo, a los usuarios del agua se les puede conceder la responsabilidad de controlar la escala local bajo la supervisión de la autoridad de gestión de recursos hídricos. En este caso, se debe diseñar la estructura de los grupos de interés para facilitar la comunicación a escala local. Otro ejemplo es el desarrollo de planes para el área de gestión de recursos hídricos. Esto puede requerir el fomento de consenso entre los principales grupos de interés y la consulta con los grupos más importantes. En este caso, las estructuras formales de los grupos de interés son invaluable.

En tales estructuras de los grupos de interés un asunto esencial es la representación. Se deben definir los procedimientos y las pautas con respecto a cómo se representan los diferentes grupos y a cómo se seleccionan y reemplazan de vez en cuando estos representantes. Las reglas claras y documentadas son importantes para alcanzar la participación equitativa.

5. Movilización de los grupos de interés

Al principio es importante tener claro el propósito de la movilización. Puede ser para la recolección de información, para persuadirlos de realizar tareas tales como el control, o puede ser para que se comprometan a llevar adelante la gestión del sistema de aguas freáticas en su área local.

La movilización de los grupos de interés puede ocurrir en cualquier momento por distintas razones. Las personas con frecuencia se han movilizadas para proporcionar información o para contribuir en un proceso de planificación. No obstante, cuando no hay más contacto,

Cuadro 7.1 Género en la movilización de los grupos de interés

Lograr un uso económicamente eficiente de las aguas freáticas requiere prestar atención al género. Esto permite:

Inversión efectiva: la infraestructura de las aguas freáticas puede utilizarse, mantenerse y sostenerse de forma más amplia y óptima cuando se consideran las demandas, expectativas, experiencia, participación y conocimientos de hombres y mujeres. Tal consideración permite encontrar soluciones buscadas en tecnología, sistemas de pago y de gestión, y puede resultar en un mejor uso de los fondos limitados, de los recursos humanos y del agua.

Mejor recuperación del costo: la recuperación de la inversión en servicios hídricos puede mejorarse si se reconocen y promueven de igual forma los roles tradicionales de las mujeres y los hombres en la gestión de los recursos hídricos.

Titularidad mejorada: las comunidades se sienten más comprometidas con proyectos relacionados con el agua que tratan temas específicos de cada género. Un estudio del Banco Mundial en 1993 acerca de 121 proyectos hídricos demostró que los sistemas que incluían a los usuarios (hombres y mujeres) en la planificación, construcción y gestión generalmente tenían mejor rendimiento. La participación sensible al género fue un factor para el éxito en la calidad del diseño, la calidad de implementación, la eficiencia de los proyectos, la operación y el mantenimiento.

(Cap-Net, GWA, 2005)

como suele suceder, se advierte que son menos receptivas en el futuro. Es importante ser honesto con uno mismo y con la comunidad sobre cuáles son las expectativas, ya que con frecuencia se lleva a cabo la participación de los grupos de interés sólo para decir que se ha hecho. (Tabla 7.4)

6. Observaciones finales

A pesar del proceso largo y difícil de movilizar y organizar los grupos de interés, el mayor desafío probablemente sea mantener la participación activa de los grupos de interés con el transcurso del tiempo. Una clave es garantizar que los grupos de interés vean el beneficio de su participación. Para muchos grupos de interés, la gestión de los recursos hídricos puede parecer sólo negativa porque de repente se enfrentan con una restricción de

extracciones de agua y descargas de efluentes o exigencias de autocontrol. Además, requiere tiempo de sus propias actividades laborales y medios para generar ingresos. Desde esta perspectiva, la agencia de gestión de los recursos hídricos tiene la responsabilidad de proporcionar y presentar beneficios concretos de la participación en el proceso de gestión de los recursos hídricos de la cuenca hidrográfica.

Algunos mecanismos que generan compromiso:

- Hacer comprensibles las situaciones complejas de las aguas freáticas.
- Facultar a las organizaciones de grupos de interés.
- Garantizar que todos los grupos de interés estén correctamente representados.
- Donde sea necesario, establecer un sistema sólido de derechos del agua freática.

Tabla 7.4: Tipos de participación de los grupos de interés

	CARACTERÍSTICAS
Participación manipuladora	La participación es simplemente una pretensión.
Participación pasiva	Las personas participan cuando se les dice lo que se ha decidido o lo que ya ha sucedido. La información compartida pertenece únicamente a los profesionales externos.
Participación por consulta	Las personas participan cuando se les consulta o cuando responden preguntas. No contribuyen en la toma de decisiones y los profesionales no tienen ninguna obligación de adoptar los puntos de vista de las personas.
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 termina el incentivo.
Participación funcional	Las agencias externas ven a la participación como un medio para lograr las metas del proyecto, especialmente el de la reducción de costos. Las personas pueden participar en grupos para alcanzar los objetivos de proyectos predeterminados.
Participación interactiva	Las personas participan en el análisis conjunto, que lleva a los planes de acción y a la formación o al fortalecimiento de los grupos locales o las instituciones que determinan cómo se utilizan los recursos disponibles. Se utiliza un método de aprendizaje para buscar múltiples puntos de vista.
Automovilización	Las personas participan al tomar iniciativas independientemente de las instituciones externas. Desarrollan contactos con las instituciones externas en materia de recursos y asesoramiento técnico pero retienen el control sobre cómo se utilizan los recursos.

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

Referencias 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 Organisations.
<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 los grupos de interés

Objetivo: examinar los roles que pueden desempeñar los grupos de interés en la gestión de las aguas freáticas.

Actividad: 45 minutos de trabajo de grupo, 35 minutos de informe.

Grupo 1: son los administradores de recursos hídricos responsables de la gestión y el desarrollo de las aguas freáticas en parte de su país donde se sobreexplota el agua freática. No se les asignará más personal ni recursos:

- ¿Qué pasos tomarán para que la comunidad participe?
- ¿Qué tareas/responsabilidades les asignarán?
- ¿Cómo garantizarán la realización de las tareas?
- ¿Cuáles serán sus roles?

Grupo 2: son grupos de interés en parte de su país donde las aguas freáticas se sobreexplotan y se ven afectadas por la mala calidad del agua, la disminución del nivel freático y la pérdida periódica de recursos hídricos. Se cree que algunos agricultores bombean demasiada agua para sus cultivos y contribuyen al problema.

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

Informe: informe de cada grupo (20 minutos), luego análisis (15 minutos).

Módulo 8: Gestión de la calidad del agua freática

Objetivos de aprendizaje:

- ③ Entender la importancia de proteger la calidad del agua freática.
- ③ Comprender el rol de la evaluación de riesgos y la representación de la vulnerabilidad en la gestión de la calidad del agua freática.
- ③ Examinar el caso específico de las aguas residuales urbanas y la calidad del agua freática.

- ③ presentar herramientas y estrategias de gestión que se puedan usar para evitar o aliviar dichas amenazas.

1. Introducción

La calidad del agua freática es un tema oculto en un recurso oculto y, como consecuencia, se le presta poca atención. La mayor parte de las aguas freáticas proviene 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 suministro de cañerías, los únicos tratamientos necesarios pueden ser la desinfección y el encalado preventivos para reducir la corrosión en la red de cañerías. Como resultado, las aguas freáticas son un recurso muy valioso para los administradores de recursos hídricos. Por otra parte, si se contamina el agua freática, la restauración de la calidad del agua por lo general es una tarea muy larga, compleja y costosa, y en muchos casos el agua freática puede destruirse efectivamente como suministro de agua potable.

Es por estas razones que el control, la prevención y el saneamiento de la contaminación del agua freática es un tema de gestión esencial. Los objetivos específicos de este módulo son:-

- ③ brindar pautas para la identificación y evaluación de las amenazas a la calidad del agua freática;


¿Conoce algún problema significativo sobre la calidad del agua freática en su país en el entorno urbano o rural?

¿Por qué los suministros hídricos freáticos merecen protección?

El agua freática es un recurso natural vital para la provisión confiable y económica del suministro de agua potable en el entorno urbano y rural. Para el suministro municipal de agua, una calidad alta y estable del agua bruta es una condición necesaria, que se alcanza más eficazmente mediante fuentes protegidas de aguas freáticas. Con demasiada frecuencia, la explotación de dichos recursos para la provisión del suministro de agua potable no ha tomado ninguna medida para proteger la calidad del agua. Los acuíferos en todo el mundo padecen una amenaza creciente de contaminación que proviene de la urbanización, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y las empresas mineras. El impacto de un episodio de contaminación por un contaminante persistente puede demorar varios años o décadas en volverse completamente visible en los suministros hídricos freáticos extraídos de los pozos más profundos y es posible que su limpieza lleve incluso más tiempo.

- ③ Los suministros hídricos freáticos merecen protección porque son un recurso vital para el suministro de agua potable en los entornos urbanos y rurales.
- ③ Los administradores de recursos hídricos deben iniciar campañas proactivas y tomar medidas prácticas para proteger la calidad natural de las aguas freáticas.

2. Evaluación de riesgos

2.1 ¿Cómo se contaminan los acuíferos?

Los acuíferos se pueden contaminar por fuentes fijas específicas, tales como estanques de desechos o descarga de efluentes

provenientes de fábricas y minas, o por fuentes de contaminación difusa, como la aplicación de fertilizantes y pesticidas agrícolas. Las aguas freáticas también pueden contaminarse a través de la contaminación de las cargas de agua de los pozos a causa de perforaciones mal construidas/diseñadas (Fig. 8.1).

Cuando la contaminación del subsuelo no se controla adecuadamente y excede la capacidad de atenuación natural de los suelos y estratos subyacentes, el sistema de aguas freáticas se contamina por estos desechos. En la zona vadosa (no saturada), los perfiles de los subsuelos naturales atenúan activa y efectivamente muchos contaminantes del agua, especialmente las aguas servidas y residuales domésticas mediante una degradación bioquímica y una reacción química.

La preocupación por la contaminación de las aguas freáticas se relaciona principalmente con los acuíferos freáticos (nivel freático), especialmente donde la zona no saturada es delgada y el nivel freático es poco profundo. A los acuíferos más profundos y confinados se les proporciona mayor protección natural a través del suelo suprayacente. Las amenazas a las aguas freáticas provienen de una variedad de fuentes (Fig. 8.1) y muchas de éstas son muy diferentes de las fuentes que suelen contaminar los cuerpos de aguas superficiales, debido a las diferencias en la movilidad y la persistencia de los contaminantes en el subsuelo en comparación con los cuerpos de agua superficial. Lo que queda claro es que si el recurso, la naturaleza y los caminos de los contaminantes se comprenden de manera adecuada, las medidas de control de la contaminación bien focalizadas pueden producir beneficios significativos por un costo relativamente modesto si se dirigen correctamente a las fuentes fijas clave.

La intrusión salina es un caso muy especial de contaminación de aguas subterráneas que ocurre debido a los acuíferos de agua potable sobrebombados en zonas costeras que originan la intrusión lateral de agua salina y la combinación con el agua potable, lo que provoca la salinización "irreversible" del acuífero. Éste es un problema importante para muchas ciudades costeras del mundo.

Los problemas de la calidad del agua freática que ocurren naturalmente se analizan en el Módulo 3 en la caracterización de las aguas freáticas.

En resumen:

- ③ Los acuíferos pueden contaminarse por descargas de fuentes fijas o por contaminantes difusos.
- ③ Por lo general, los acuíferos se contaminan cuando la contaminación no se controla adecuadamente y excede la capacidad de atenuación natural del suelo.
- ③ La gestión de la calidad de las aguas freáticas requiere la evaluación de la amenaza y el riesgo de contaminación a las aguas subterráneas, la definición de las zonas de vulnerabilidad de las aguas subterráneas, el control de descargas de efluentes (por ejemplo, mediante un sistema de permisos), así como la construcción de estructuras de contención (por ejemplo, estanques residuales revestidos) a fin de evitar o reducir la contaminación de las aguas freáticas.



Proporcione ejemplos de contaminación de las aguas freáticas en su país. ¿Cómo se puede evitar en el futuro? ¿Medio ambiente?

2.2 ¿Cómo se puede evaluar la amenaza de contaminación de las aguas freáticas?

La evaluación de la amenaza de contaminación de las aguas freáticas es necesaria para entender las acciones requeridas y para proteger la calidad del agua freática, y debe ser un componente esencial de la mejor práctica medioambiental. La amenaza de contaminación de las aguas freáticas es la interacción entre la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero y la carga de contaminantes (Tabla 8.1). La vulnerabilidad del acuífero está esencialmente determinada por el entorno hidrogeológico natural pero la carga de contaminantes varía. Los niveles del agua freática y las presiones del agua modifican la vulnerabilidad de los acuíferos en cierta medida.

La vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos se puede evaluar a partir de características hidrogeológicas del material

suprayacente para producir un índice de vulnerabilidad que puede delimitarse. 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 = Acuífer 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 acuífer (conductividad hidráulica del acuífero).

El mapa resultante de vulnerabilidad de las aguas freáticas es una herramienta importante para la gestión del desarrollo industrial/de infraestructura para reducir los impactos en la calidad del agua freática. La carga posible de contaminantes también puede representarse y superponerse en el mapa de vulnerabilidad del acuífero para proporcionar un mapa de la amenaza de contaminación de las aguas freáticas (por ejemplo, Figura 8.2).

Si algún peligro resulta en una amenaza para las aguas freáticas, depende principalmente de su ubicación con respecto a las zonas de caudal de agua freática y las áreas de captura, y en segundo lugar depende de la movilidad

de los contaminantes involucrados. Una cantidad de áreas y zonas se deben identificar normalmente con diferentes índices de amenazas. En términos de nuevos desarrollos, las industrias y actividades que generan cargas significativas de contaminantes no deben ubicarse en áreas con altos índices de amenazas. Las diferentes escalas de estudio se aplicarán a la protección del suministro de agua y a la protección de los recursos acuíferos. En términos ideales, el centro de atención debería ser la protección de los recursos acuíferos.

En resumen:

- ③ Se puede evaluar la amenaza de contaminación de las aguas freáticas al considerar la combinación de la distribución y la vulnerabilidad del acuífero, la cantidad y la naturaleza de la carga de contaminantes.
- ③ Las evaluaciones de la amenaza de contaminación de las aguas freáticas deben impulsar a las autoridades a tomar medidas preventivas y correctivas para detener las actividades que representen una amenaza real para la calidad de las aguas freáticas.

Figura 8.1 Las actividades de uso de la tierra comúnmente generan una amenaza de contaminación para las aguas freáticas (Nota informativa 8 de GW-Mate)

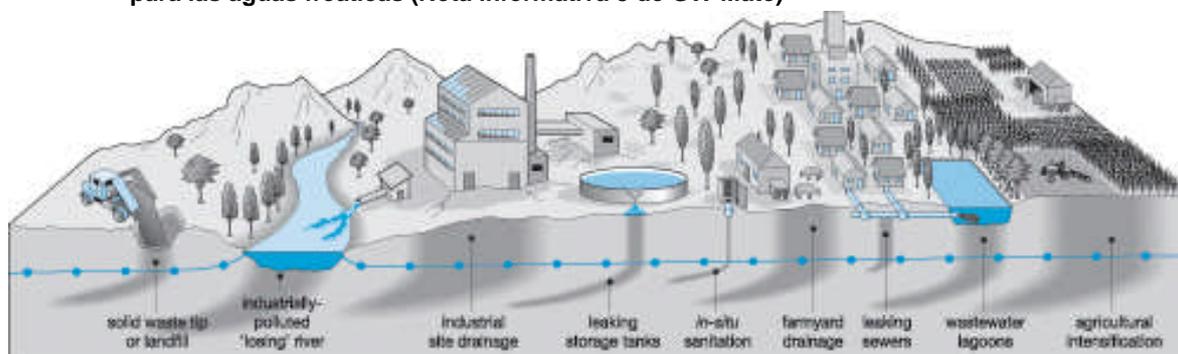
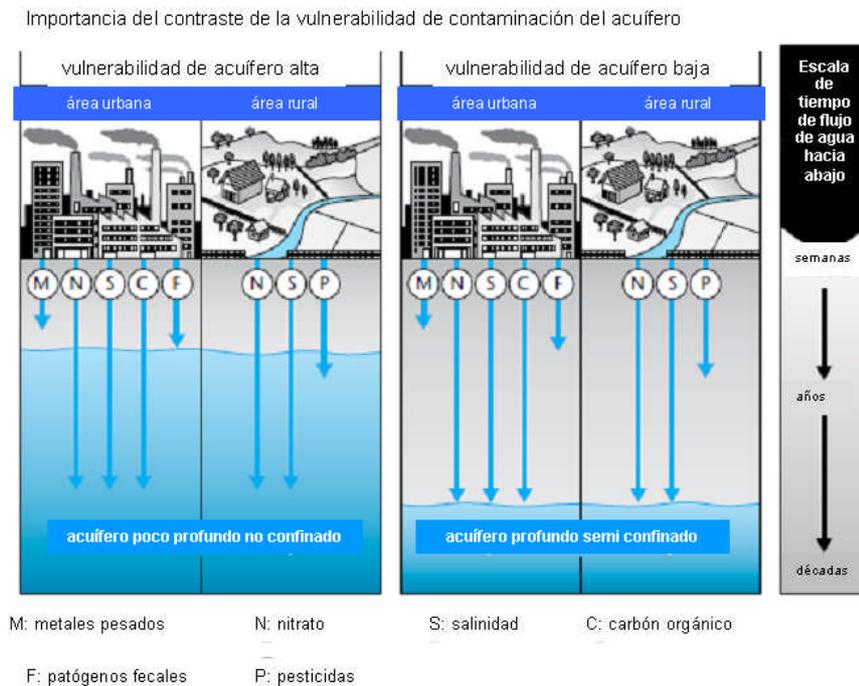


Tabla 8.1 Definición de términos comunes relacionados con la contaminación de las aguas subterráneas.

Término	Definición
Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero	La sensibilidad a la contaminación determinada por las características intrínsecas naturales del estrato geológico que forman los lechos circundantes suprayacentes o la zona vadosa del acuífero involucrado.
Amenaza de contaminación de las aguas freáticas	La probabilidad de que se contaminen las aguas freáticas en un acuífero en concentraciones que excedan las pautas de agua potable de la OMS cuando una carga determinada de contaminantes del subsuelo se genera en la superficie de la tierra.
Riesgo de contaminación de las aguas freáticas	La amenaza que presenta este peligro a la salud humana debido a la contaminación de una fuente de suministro específica de agua freática o de un ecosistema debido a la contaminación de la descarga de un acuífero natural específico.

Figura 8.2. El riesgo de las aguas freáticas es una combinación de amenaza de contaminación y vulnerabilidad del acuífero.



2.3 ¿Cómo se mide y se controla la calidad de las aguas freáticas?

Un aspecto clave de la gestión de la calidad de las aguas freáticas es la aplicación del control de la calidad del agua en perforaciones seleccionadas, especialmente en las áreas que se consideran riesgosas. Es posible medir la calidad de las aguas freáticas a través del muestreo y análisis del agua freática de pozos seleccionados. El control puede ser proactivo con el control de los pozos instalados antes de una actividad planificada que pueda generar contaminación, de modo que se puedan medir los cambios en la condición del agua freática a medida que ocurren. Alternativamente, el control puede ser reactivo con los pozos de control instalados para controlar la contaminación posible de una instalación/actividad existente. Este tema es abordado con mayor detalle en el Módulo (9) sobre el control de las aguas freáticas.

Hay varios asuntos involucrados en el control de la calidad de las aguas freáticas que se deben considerar, lo que le agrega una complejidad considerable a la tarea. El costo del análisis químico puede ser muy alto, según los parámetros analizados. En varios casos, especialmente para los

¿Qué controles tiene sobre la contaminación de las aguas freáticas? ¿Son efectivos?

agroquímicos orgánicos y los reactivos industriales, es posible que los laboratorios locales no estén equipados para realizar los análisis requeridos. Donde sea posible, los parámetros de indicadores económicos deben identificarse y medirse como una alternativa a un análisis químico completo. Los pozos de muestreo, si no tienen un uso diario regular, deben descargarse por completo antes del muestreo. Los puntos de muestreo deben seleccionarse cuidadosamente, lo que requiere una comprensión clara de los patrones del caudal de agua freática y el conocimiento de la ubicación de las fuentes de contaminación.

La frecuencia de muestreo también debe considerarse y se basará en la sensibilidad del problema de la contaminación y la frecuencia del caudal inductor o los eventos de descarga tales como la recarga de agua freática.

3. Sistemas de gestión de la calidad y contaminación de las aguas freáticas

3.1 Protección de las aguas freáticas de la contaminación

La gestión de la calidad de las aguas freáticas requiere proteger a los acuíferos y al agua freática del ingreso de los contaminantes y también el saneamiento/tratamiento de los

recursos contaminados. Debe destacarse que el tratamiento de las aguas freáticas contaminados es complejo, costoso y a menudo parcialmente exitoso, y puede llevar varios años de tratamiento para que se pueda restaurar la calidad de dichos recursos.

La calidad de las aguas freáticas puede variar desde agua potable de alta calidad hasta una sustancia completamente tóxica, con un rango completo de calidades de agua en el medio. Además de la protección y el saneamiento, la gestión de la calidad de las aguas freáticas puede incluir la combinación de diferentes calidades de agua para diferentes usos y la combinación de diferentes calidades de agua para proporcionar un recurso mayor de agua freática de calidad intermedia que aún se considere aceptable para un requisito de uso particular.

La gestión de la calidad de las aguas freáticas debe ser proactiva e intentar prevenir la contaminación de las aguas freáticas, y así evitar el saneamiento prolongado, costoso y a menudo ineficaz de los acuíferos contaminados.

La protección de las aguas freáticas inicialmente comprende dos aspectos clave. Estos son

1. evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero (Fig. 8.3) y
2. representación de las amenazas de contaminación de las aguas freáticas.

Juntos, estos dos factores pueden utilizarse para generar un mapa de riesgo de contaminación de las aguas freáticas. Dichos mapas pueden utilizarse para guiar la ubicación de nuevos desarrollos propuestos, como que el riesgo de contaminación de las aguas freáticas se reduzca en el área sensible y puedan utilizarse en áreas ya desarrolladas para evaluar las probables zonas que están en riesgo o contaminadas por actividades continuas.

Una vez que se haya identificado y evaluado el riesgo, se pueden presentar ciertas prácticas

para la gestión de la calidad de las aguas freáticas. Entre ellas se incluyen:

- ③ control de la calidad de las aguas freáticas para evaluar el estado real de la calidad de dichos recursos y los cambios en la calidad con el tiempo;
- ③ prohibición de ciertas actividades en áreas sensibles o vulnerables;
- ③ prohibición de la eliminación de ciertos niveles de desechos excepto en instalaciones selladas;
- ③ gestión de la calidad y cantidad de los efluentes y la eliminación de desechos a partir de una serie de permisos;
- ③ control del cumplimiento con regulaciones/permisos.

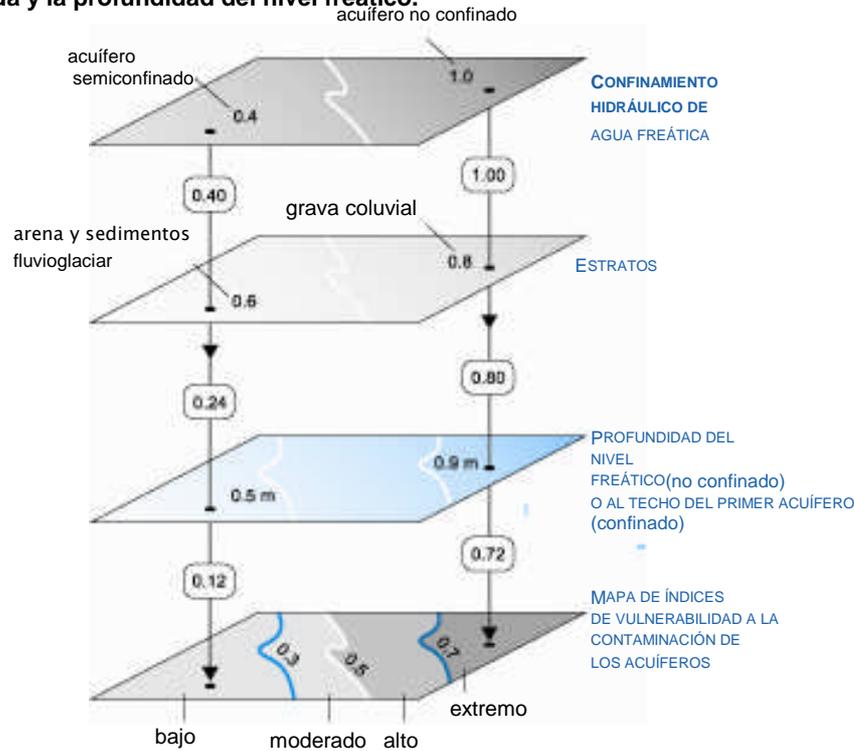
Además, se pueden iniciar medidas reparadoras en áreas donde se considere necesario y viable; por ejemplo:

- ③ bombeo y tratamiento de aguas freáticas contaminados;
- ③ bombeo/inyección en pozo para revertir el gradiente hidráulico a fin de proteger las aguas freáticas sensibles mediante el cambio del patrón del caudal de agua freática;
- ③ construcción de barreras físicas tales como muros de cemento o lechada;
- ③ tratamiento químico o bacterial in situ de las aguas freáticas contaminados.

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

3.2 El ciclo de vida de los desechos y la contaminación de las aguas freáticas

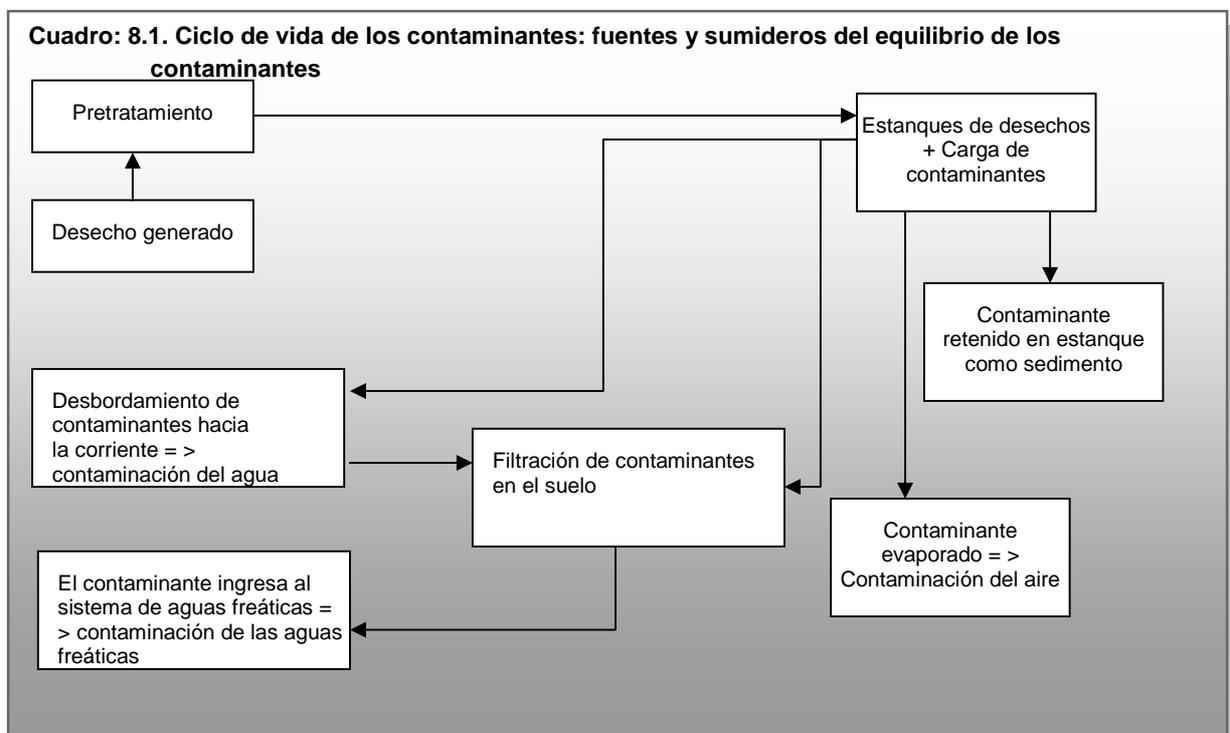
Figura 8.3 Los mapas de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos representan un parámetro de entrada fundamental para gestionar y proteger la calidad de las aguas freáticas. Como se muestra en la metodología GOD a continuación, los factores clave de la vulnerabilidad de los acuíferos incluyen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



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 la descarga directa al medio ambiente, pero teóricamente los desechos o efluentes se descargan en estanques de desechos. Dichos estanques o receptáculos para desechos pueden estar perfilados o diseñados para reducir o evitar que los desechos ingresen al subsuelo y que posteriormente contaminen las aguas freáticas. 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, muchos de estos pasos pueden estar ausentes.

Cada vez hay más conciencia sobre la necesidad de controlar la contaminación, generalmente mediante un sistema de permisos. Un permiso especificará la clasificación de los contaminantes 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 evaluar el destino final de los materiales de desecho y determinar la cantidad de contaminante que realmente ha ingresado en



la tierra.

3.3 ¿Qué comprende la protección de la contaminación de las aguas freáticas?

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 de las aguas freáticas (Fig. 8.4). Se pueden establecer zonas simples y contundentes con indicaciones de 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. Las zonas tienen un rol clave en el establecimiento de prioridades para el control de la calidad de las aguas subterráneas, la auditoría medioambiental, etc., y pueden ayudar a reducir los costos implicados en la producción de mapas de calidad de las aguas freáticas. 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 de las aguas freáticas, las cargas de los contaminantes, los trayectos del caudal, etc.

En resumen:

- ③ Se debe gestionar el uso de la tierra, la descarga de efluentes y las prácticas de eliminación de desechos a fin de proteger los acuíferos de la contaminación.
- ③ Se deben establecer zonas simples y contundentes con indicaciones de qué actividades son aceptables/posibles.

3.4 ¿Quién debe promover la protección de la contaminación de las aguas freáticas?

El principio de “el que contamina paga” se debe aplicar en casos de contaminación de las

aguas freáticas. Sin embargo, puede ser difícil determinar definitivamente la fuente de contaminación en casos de contaminación difusa y en ambientes urbanos/industrial es donde hay múltiples fuentes fijas contaminantes.



La responsabilidad final de la protección de la contaminación de las aguas freáticas debe recaer en la agencia relevante del gobierno nacional o local. Sin embargo, las compañías de servicios del agua también tienen la obligación de ser proactivas en el cumplimiento con las evaluaciones de amenazas de contaminación para las fuentes de las aguas freáticas que utilizan.

GW-MATE (2002) ha elaborado una guía técnica para los profesionales de las aguas freáticas a fin de ayudarlos a cumplir con las evaluaciones de amenazas de contaminación de dichos recursos para las empresas de servicios públicos de agua y desarrollar estrategias de protección contra la contaminación para las agencias ambientales. Debe existir una interacción entre la autoridad relevante de las aguas freáticas o la agencia ambiental y las diferentes industrias/desarrollos que generan cargas de contaminación basadas en los mapas de amenazas de contaminación de las aguas subterráneas y las cargas de 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, que dependen 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.

En resumen:

- ③ El principio de “el que contamina paga” se debe aplicar en casos de contaminación de las aguas freáticas.

- ③ La responsabilidad final de la protección de la contaminación de las aguas freáticas debe recaer en la agencia relevante del gobierno nacional o local.

3.5 Calidad del agua freática y el agua residual urbana

Las aguas residuales urbanas pueden considerarse un caso especial en la gestión de la calidad de las aguas freáticas. Esto se debe a que la generación de aguas residuales urbanas es inevitable, ubicua y creciente en volumen a medida que crecen las ciudades. Además, hay beneficios muy reales que se pueden alcanzar a partir de las aguas residuales urbanas tales como la recarga de aguas subterráneas y la provisión de agua para el riego de ciertos cultivos. Junto a tales beneficios, las aguas residuales urbanas también contienen amenazas 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 las aguas subterráneas?

Hay una generación de aguas residuales en constante crecimiento en las ciudades de mayor desarrollo y la gestión de dichas aguas es un problema significativo para las ciudades, especialmente en los países subdesarrollados. Desafortunadamente, muchos sistemas de alcantarillado descargan directamente en los cursos de agua superficiales con un tratamiento mínimo y poca dilución en la estación seca. Las prácticas de manejo y

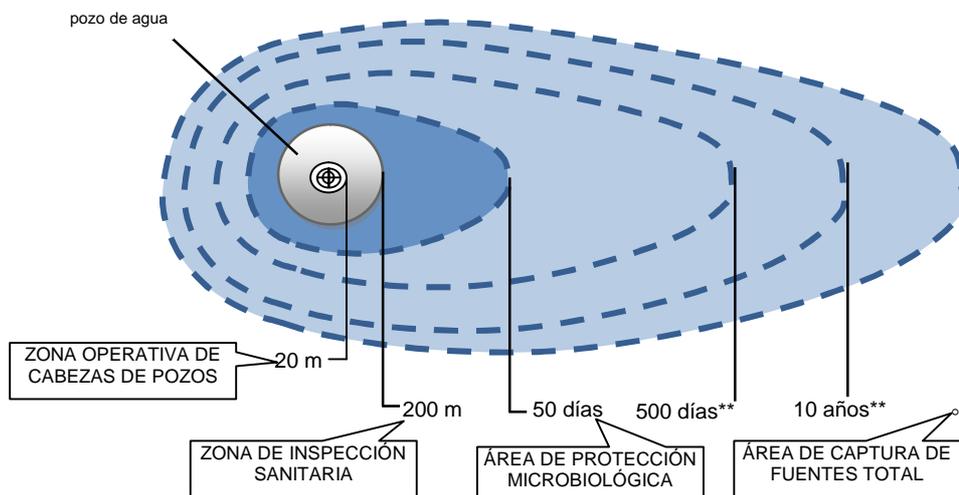
reutilización de las aguas residuales más rudimentarias y comunes en los países subdesarrollados tienden a generar altas tasas de infiltración en los acuíferos subyacentes, especialmente en los climas más áridos. La infiltración a través del suelo mejora la calidad del agua residual y la almacena para uso futuro, pero también puede contaminar las aguas subterráneas. La Figura 8.5 (A) ilustra la práctica típica de gestión del agua residual en muchas ciudades subdesarrolladas, mientras que la Figura 8.5 (B) indica algunas adaptaciones simples que ayudan a mejorar la situación.

La infiltración de aguas residuales a las aguas subterráneas ocurre directamente desde las instalaciones de saneamiento y aguas residuales y del riego para la agricultura con agua residual. La recarga de los acuíferos es una parte integral de los procesos de reutilización de aguas residuales. Asimismo, el agua residual es muy popular entre los agricultores pobres debido a su continua disponibilidad durante todo el año y por su alto contenido de nutrientes de plantas; no obstante, constituye un riesgo para la salud pública.

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

Ya que a menudo se prefiere el agua superficial para el suministro de agua pública y también es ampliamente utilizada para uso doméstico privado, la contaminación del agua residual de los acuíferos es una consideración seria. Parece haber pocos avances para reducir esta amenaza en los países

Figura 8.4. Las zonas de protección de las aguas freáticas son una herramienta simple pero poderosa para proteger las fuentes de aguas freáticas importantes. Se imponen limitaciones en distintas actividades, según la zona, generalmente basadas en el tiempo del caudal para el punto de extracción.



** área empírica de radio fijo
** perímetros de tiempo de caudal intermedio utilizados a veces

subdesarrollados a través del simple apoyo de estándares de calidad rigurosos, que pueden no ser alcanzables.

Es importante identificar las intervenciones rentables y las inversiones crecientes a fin de reducir los riesgos para los usuarios de las aguas subterráneas. Una prioridad es mejorar la caracterización de las aguas residuales para evaluar la amenaza de contaminación de las aguas subterráneas. Si hay contaminantes persistentes en las aguas residuales, generalmente es mejor controlarlos en la fuente por recolección y eliminación independientes.

La importante recarga incidental de acuíferos mediante el manejo y la reutilización de las aguas residuales es tan generalizada que debería contemplarse siempre como una parte integral de la gestión de las aguas residuales, y así planificarse como corresponde.

Siempre es importante considerar tanto los beneficios como los riesgos de recarga de aguas residuales a los acuíferos y la manera en que los entornos hidrogeológicos varían con respecto a la vulnerabilidad de

contaminación.

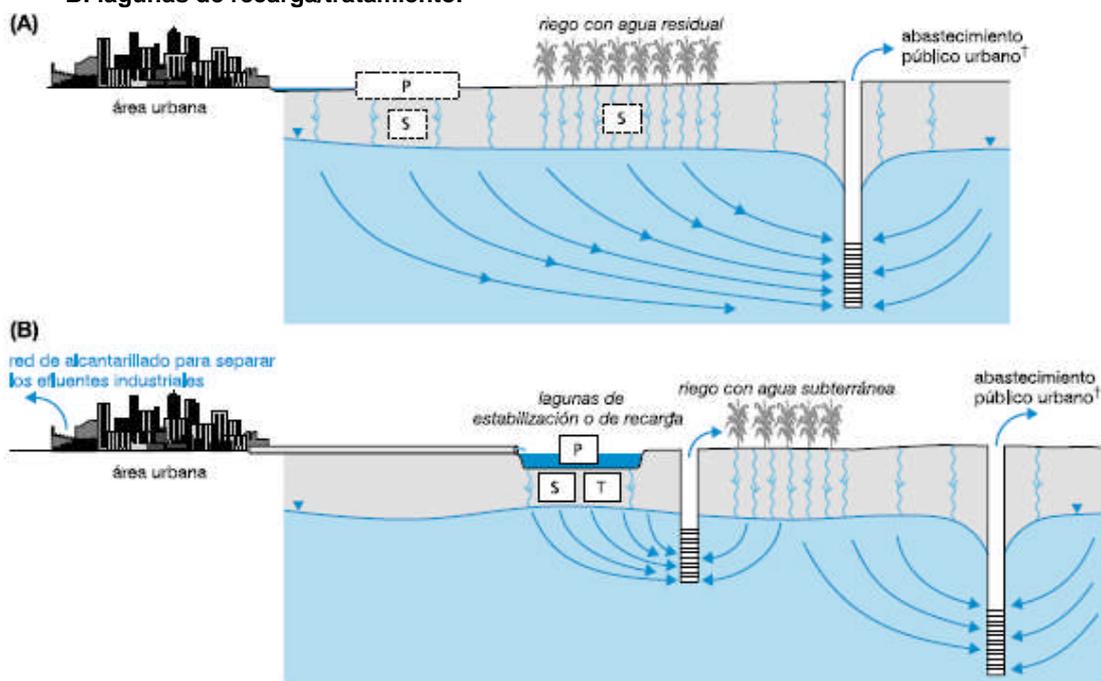
- ③ La compatibilidad entre la reutilización de las aguas residuales y los intereses de suministro de las aguas subterráneas se pueden lograr mediante:
 - el incremento de la profundidad y la mejora de sellado sanitario de pozos de agua potable;
 - el establecimiento de áreas de protección de fuentes apropiadas para tales pozos de agua;
 - el sellado de estanques para el tratamiento de las aguas residuales (Fig. 8.5 B);
 - el control 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 privados de poca profundidad.


 ¿Qué sucede con las aguas residuales de sus ciudades?

Figura 8.5 Esquemas generales de generación, tratamiento, reutilización e infiltración de aguas residuales a los acuíferos.

A: situación que ocurre comúnmente sin planificar ni controlar;

B: lagunas de recarga/tratamiento.



Referencias y lecturas web

EPA, Ground Water and Drinking Water.
www.epa.gov/safewater/
Ground Water Quality Home Page.
www.state.sd.us/denr/des/ground/groundprg.htm
GW•MATE, 2002. Groundwater Quality Protection –
A guide for water utilities, municipal authorities and
environment agencies. World Bank ISBN 0-8213-
4951-1
GW•MATE, 2002-2006, Nota informativa 8.
<http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPI/CS/EXTWAT/0,,contentMDK:21760540~menuPK:4965491~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:4602123,00.html>.
Purdue University, GROUND WATER 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/Harter_FWQFS_8084.pdf

EJERCICIO

Objetivo: compartir la experiencia de los problemas de la calidad de las aguas subterráneas.

Actividad: dividirse en grupos de 4 ó 5. 1 hora.

Cada grupo debe:

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

Informe: 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 grupos de interés: Administradores de recursos hídricos/aguas freáticas; compañías de eliminación de desechos; efluentes de descargas 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 de las aguas subterráneas (y de las aguas superficiales). Los otros grupos de interés deben plantear preguntas sobre el impacto de los cambios y hacer objeciones o sugerencias a los administradores de los recursos hídricos.

Preparación: 20 minutos

Debate: 40 minutos.

Módulo 9: Control de las aguas freáticas

Objetivos de aprendizaje:

- ③ Por qué y cómo controlar los cambios en el nivel del agua de los acuíferos con el tiempo.
- ③ Por qué y cómo controlar los cambios de la calidad del agua con el tiempo.
- ③ Cómo controlar el cumplimiento.
- ③ Cómo gestionar la respuesta del acuífero y las amenazas a la calidad.

1. Introducción

El control y la obtención de datos de las aguas freáticas son condiciones necesarias para cualquier gestión efectiva de las mismas. El control permite que las aguas freáticas sean visibles. El control puede incluir la calidad y la disponibilidad del recurso mismo, y el cumplimiento con las regulaciones y los permisos de extracción y eliminación. En ausencia de control, la extracción de agua freática y la eliminación de desechos ocurren sin ningún cuidado para este recurso esencial, y el uso excesivo y la contaminación de un acuífero pueden ocurrir sin control durante años hasta que las aguas freáticas se destruyan efectivamente.

El diseño y la operación de cualquier sistema de control de aguas subterráneas deben planificarse cuidadosamente de modo que se pueda obtener la información útil y relevante para poder lograr los propósitos de gestión de una manera sostenible y rentable. En las etapas iniciales, es aconsejable concentrar las actividades de control en objetivos críticos tales como los acuíferos de bombeo intensivo y las aguas freáticas estratégicos. Así, la red de control se puede desarrollar paulatinamente, expandiéndose según sea necesario y a medida que los recursos y el personal estén disponibles.

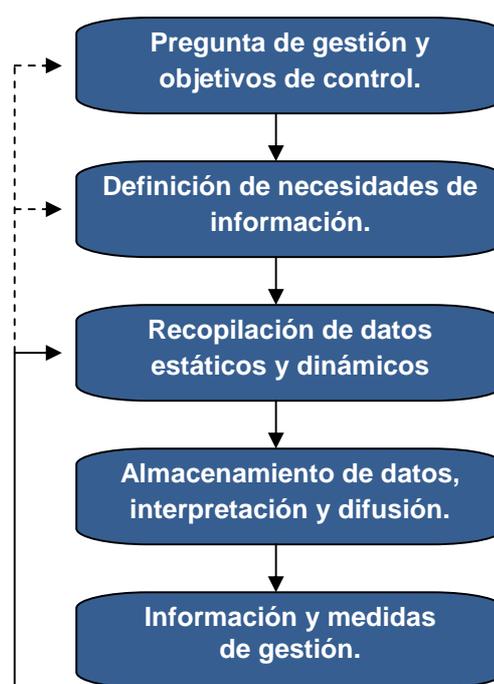
1.1 Ciclo de control de las aguas freáticas

El control de los acuíferos y las aguas subterráneas mejora la evaluación y gestión de las aguas freáticas. Dado que el agua freática es un recurso extenso, oculto y relativamente inaccesible, su gestión no es

simple y requiere datos que sólo se pueden recopilar mediante el control de una variedad de parámetros de aguas subterráneas en el tiempo. Los cambios en la cantidad y la calidad con frecuencia son procesos muy lentos que ocurren bajo grandes áreas de tierra que no se pueden determinar por simples encuestas instantáneas. Como resultado, se deben elaborar redes de control e interpretación de datos para proporcionar aportes clave para la gestión efectiva de los acuíferos de los diferentes efectos de la extracción y contaminación de agua freática.

El ciclo de control incluye un sistema completo de definición de problemas, objetivos de gestión, necesidades de información, obtención de datos, almacenamiento de datos, interpretación y difusión que origina información exacta y relevante, y acciones de gestión consecuentes. Muy a menudo se recopilan demasiados datos, pero nunca se almacenan adecuadamente, ni se interpretan para necesidades prácticas de gestión, ni se difunden a los grupos de interés. Dicho control incompleto puede ser totalmente ineficaz, y peor, puede engañar a los grupos de interés en la creencia de que las aguas freáticas se gestionan efectivamente. La Figura 9.1

Figura 9.1. El ciclo del control de las aguas freáticas.



explica el ciclo de control.

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

El control de los recursos considera los cambios en la calidad y cantidad de las aguas freáticas en el tiempo, mientras que el control del cumplimiento evalúa el comportamiento de los grupos de interés/usuarios de las aguas freáticas y el impacto de sus actividades en dichos recursos.

1.2 Beneficios del control

Una de las razones más importantes del control es garantizar que no se produzca la extracción “excesiva” de agua freática y que se eviten las consecuencias, Fig. 9.2.

- ③ Al bombear el agua freática, los niveles del agua disminuyen, el costo del bombeo aumenta y se reduce el caudal intrínseco/caudal de vertiente. Éstas son consecuencias normales de cualquier bombeo de aguas subterráneas y son impactos reversibles.
- ③ Al aumentar el bombeo, comienza a tener lugar la compactación de los acuíferos con una reducción consecuente en la transmisividad y una mayor reducción en los rendimientos de los pozos. Los impactos ecológicos también aumentan, poniendo en peligro y perdiendo la vegetación freatofítica. La calidad del agua puede comenzar a disminuir.
- ③ Cuando el bombeo se vuelve excesivo,

empiezan a producirse impactos irreversibles y un daño permanente 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. El hundimiento de la tierra puede ocurrir con la compactación permanente del acuífero y una consecuente pérdida importante de capacidad de almacenamiento.

- ③ Se pueden evitar dichos impactos mediante un control bien diseñado de respuestas del acuífero al bombeo, combinado con intervenciones de gestión efectivas para reducir la extracción.

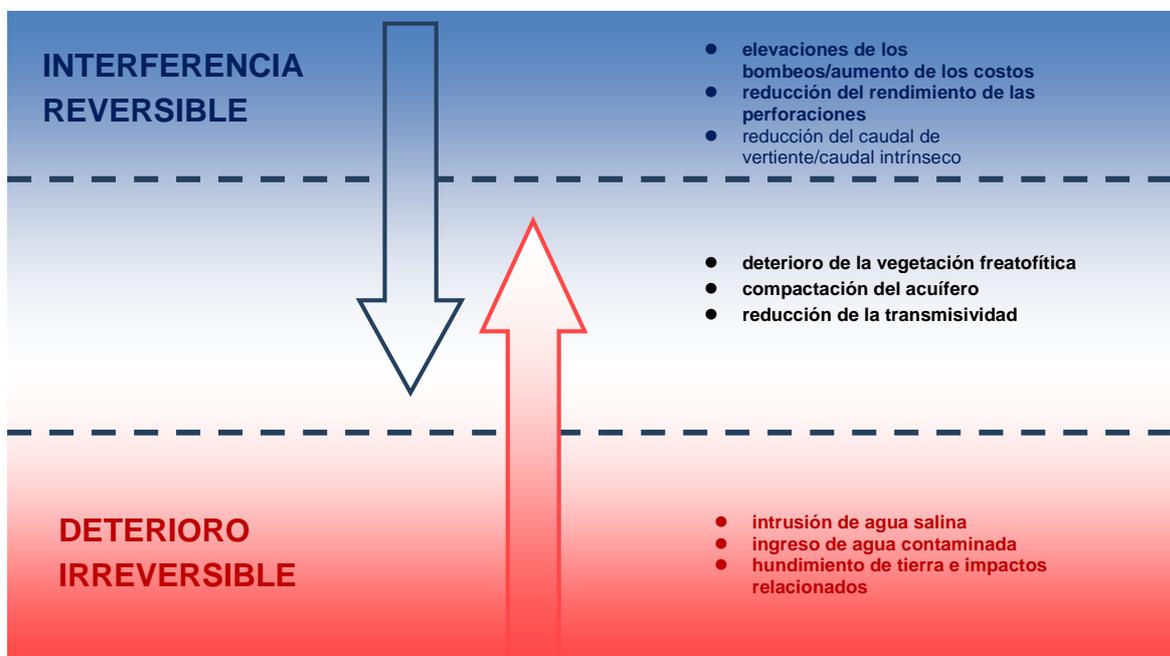
1.3 ¿Cómo se realiza el control?

Cualquier red de control se debe diseñar para lograr objetivos específicos determinados por una cantidad de cuestiones de gestión con respecto a uno o más aspectos de las aguas freáticas.

En una situación ideal, se instalan pozos de observación o control específicos. Dichos pozos son **bocallaves para acuíferos**, que permiten medir el nivel del agua freática, la presión piezométrica y la calidad del agua.



Figura 9.2: Las consecuencias de la sobreextracción.



Estos pozos deben estar ubicados y diseñados para detectar posibles cambios en el caudal y la calidad de las aguas subterráneas. Una serie de pozos de observación junto con una selección de pozos de extracción normalmente comprenden una **red de control**, diseñada para

- ③ detectar cambios en el almacenamiento, el caudal y la calidad de las aguas subterráneas;
- ③ evaluar riesgos específicos del acuífero;
- ③ evaluar la recarga y descarga del acuífero.

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

- ③ tarifas de extracción;
- ③ el cumplimiento del usuario con los permisos de extracción y descarga de efluentes.

La Tabla 9.1 a continuación sintetiza el tipo de información necesaria para el control.

Tabla 9.1. Tipos de datos requeridos para la gestión de aguas freáticas

TIPO DE DATO	DATOS BASEALES (De archivos)	DATOS DE VARIANTES DE TIEMPO (de estaciones de campo)
Presencia de aguas subterráneas y propiedades del acuífero	<ul style="list-style-type: none"> ● Registros de pozos de agua (registros hidrológicos, niveles y calidad de las aguas subterráneas instantáneas). ● Pruebas de bombeo de pozos y acuíferos. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Control de nivel de aguas subterráneas. ● Control de calidad de aguas subterráneas.
Uso de las aguas subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> ● Instalaciones de bombeo de pozos de agua. ● Inventarios de uso del agua. ● Pronósticos y registros poblacionales. ● Consumo de energía para riego. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Control de extracciones de pozos de agua (directas o indirectas). ● Variaciones del nivel de aguas subterráneas de pozos.
Información complementaria	<ul style="list-style-type: none"> ● Datos del clima. ● Inventarios del uso de la tierra. ● Mapas/secciones geológicas. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Medición de los caudales de los ríos. ● Observaciones meteorológicas. ● Estudios satelitales del uso de la tierra.

2. ¿Cómo podemos garantizar que el control de las aguas subterráneas sea rentable?

Es costoso e innecesario implementar el control de aguas subterráneas sin un objetivo, y lleva a un uso ineficiente de mano de obra y presupuestos. Se debe impulsar el control efectivo de aguas subterráneas mediante un objetivo específico, y los datos recopilados no deben utilizarse sólo para el propósito explícito

del programa de control, sino que también deben almacenarse 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, no es esencial controlar, aunque el control basal es aconsejable si los recursos están disponibles. Cuando el acuífero se utiliza cada vez más, es esencial controlar las aguas subterráneas. En cualquier etapa es aconsejable controlar las aguas freáticas estratégicamente importantes y los que estén bajo posible amenaza de contaminación o salinización.

El objetivo del control es revelar los cambios que ocurren en las aguas freáticas a través del tiempo, y por consiguiente, permitir que los administradores presenten cambios y restricciones sobre el modo en que se utilizan las aguas freáticas para minimizar el efecto negativo de dichos impactos.

La Fig. 9.3 muestra una condición teórica donde el control ha revelado la sobreextracción y se han introducido medidas de gestión para reducir el bombeo a fin de estabilizar la situación. La recopilación continua de datos de control les permitirá a los administradores revisar la eficiencia de las restricciones introducidas y realizar modificaciones necesarias. Este ejemplo simplifica la realidad considerablemente, ya que los acuíferos son generalmente muy heterogéneos, la recarga es altamente variable tanto espacial como temporalmente y los sistemas de caudal de las aguas subterráneas son complejos.

Se puede mejorar la efectividad del control de las aguas subterráneas prestando suma atención al diseño de redes, la implementación de los sistemas y la interpretación de los datos. Se deben usar los datos recopilados en actividades de control anteriores y no descartarlos ni perderlos. Si es posible, las estaciones de control deben ser fácilmente accesibles. Donde sea posible, el uso de determinantes indicadores puede reducir los costos analíticos de manera muy significativa. Se debe garantizar la precisión del control, tanto para los parámetros físicos como químicos, mediante la incorporación de procedimientos de control de calidad. El autocontrol complementario entre los usuarios del agua ayuda a reducir los costos y también tiene el beneficio de aumentar la concientización y la participación de los grupos de interés en la gestión de las aguas subterráneas.

- ③ Los sistemas/redes de control deben estar específicamente diseñados para un propósito explícito.
- ③ A pesar de que el control de las aguas subterráneas es costoso, a largo plazo, puede ser muy rentable mediante el ahorro de los recursos de aguas subterráneas y la reducción de los costos de saneamiento.
- ③ La participación de los grupos de interés en el control puede ayudar a reducir costos y a mejorar la concientización de las aguas freáticas.

2.1 Diseño básico de una red de control

A pesar de que el diseño de una red de control efectiva requiere una cantidad significativa de

Figura 9.3: El control combinado con las medidas de gestión (bombeo reducido en este caso) puede llevar a un desarrollo más estable de las aguas freáticas.

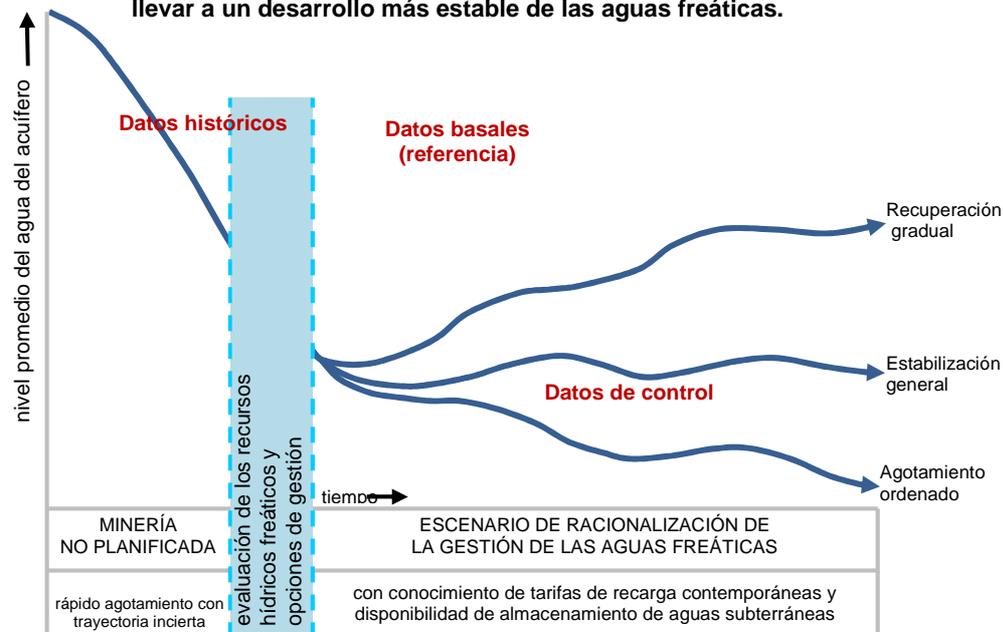


Figura 9.3: El control combinado con las medidas de gestión (bombeo reducido en este caso) puede llevar a un desarrollo más estable de las aguas freáticas.

Si bien el control de las aguas subterráneas a menudo se considera costoso, a largo plazo el rendimiento puede ser sustancial en términos de ahorro de aguas freáticas y en la reducción de costos de tratamiento.

- ③ El control de las aguas subterráneas sin un objetivo es innecesario y derrochador.

datos y conocimiento especializado, se pueden dar algunas pautas básicas para proporcionar una comprensión inicial sobre el diseño de control.

¿Cuál es el objetivo del control?

Ésta es la primera pregunta básica para responder. ¿Sirve el control para garantizar el cumplimiento de los permisos de extracción o descarga de efluentes; o para evaluar los efectos del bombeo intensivo de un campo de pozos importante que es suministro para una

industria fundamental; o para controlar los efectos en la calidad de las aguas subterráneas en un acuífero vulnerable de una instalación de eliminación de desechos? ¿O el control se realiza como datos basales

concentración de un contaminante real. El control de descargas de efluentes es una parte importante del control de la contaminación.

El control de la intrusión salina requiere del

Tabla 9.2. Clasificación de los sistemas de control de aguas subterráneas por función.

SISTEMA	FUNCIÓN BÁSICA	UBICACIONES DE POZOS
Primario (control como referencia)	Evaluación del comportamiento general de las aguas subterráneas: <ul style="list-style-type: none"> Las tendencias resultan del cambio en el uso de la tierra y la variación climática. Procesos tales como recarga, caudal y contaminación difusa. 	<ul style="list-style-type: none"> En áreas uniformes con respecto al uso de la tierra e hidrogeológico.
Secundario (control como protección)	Protección contra los posibles impactos sobre: <ul style="list-style-type: none"> Los recursos estratégicos de las aguas freáticas. Campos de pozos/manantiales para suministro público de agua. Infraestructura urbana del hundimiento de la tierra. Sitios arqueológicos frente al nivel freático creciente. Ecosistemas dependientes de las aguas subterráneas. 	<ul style="list-style-type: none"> Áreas circundantes/instalaciones/características que requieren protección.
Terciario (contención de la contaminación)	Advertencia temprana de los impactos de las aguas subterráneas de: <ul style="list-style-type: none"> Uso agrícola intensivo de la tierra. Sitios industriales. Vertederos de desechos sólidos. Áreas de saneamiento de tierras. Canteras y minas. 	<ul style="list-style-type: none"> Gradiente hidráulico descendente y ascendente de amenaza.

científicos para evaluar las tasas de recarga naturales y la calidad del agua? (Tabla 9.2)

Se debe mencionar que el control sólo debe ocurrir si hay alguna forma de amenaza a las aguas subterráneas. Los acuíferos que son muy utilizados, que muestran grandes disminuciones en los niveles del agua o que son altamente vulnerables a una amenaza de contaminación deben controlarse en primer lugar. Los acuíferos pequeños que sirven a las comunidades rurales aisladas no pueden garantizar el costo del control.

¿Qué controlar?

El propósito del control supervisa los parámetros que necesitan ser controlados. Para propósitos de gestión de los recursos, se requieren las tasas de extracción específicas 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 control de la contaminación requerirá un muestreo y análisis de las aguas subterráneas para el contaminante específico en consideración (o un parámetro indicador alternativo que sea más fácil y económico para analizar) a fin de proporcionar una representación adecuada de la ubicación y

control de la conductividad eléctrica en pozos en diferentes profundidades. El control de la contaminación en una recarga reciente requiere el control de cada una de las zonas no saturadas o de los niveles superiores del acuífero.

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

¿Dónde controlar?

Para realizar un control efectivo, es esencial comprender el sistema de caudal de las aguas subterráneas, así como la ubicación de las áreas de recarga y descarga. El control de los pozos se debe ubicar en las áreas correctas para proporcionar la información requerida. Por ejemplo, hay poco valor en el control del gradiente de la calidad del agua de una fuente de contaminación fija, ya que el caudal de las aguas subterráneas evacua los contaminantes del pozo controlado. Los efectos de densidad, solubilidad, difusión, dispersión y adsorción en el movimiento de cada contaminante específico también tienen un impacto en cómo se esparcirá en el sistema de aguas

subterráneas. Los contaminantes densos e inmiscibles pueden hundirse hasta la base del acuífero, mientras que los líquidos livianos flotarán en la superficie de las aguas subterráneas.

En términos de recursos de los acuíferos, las áreas de recarga y descarga pueden ser significativas. Pueden suceder considerables disminuciones del nivel de agua en las regiones de recarga y caudal medio del acuífero, mientras que en el área de descarga, las disminuciones en el nivel del agua pueden ser mucho menores. El cono de depresión generado por el bombeo de los campos de pozos probablemente tenga un perfil irregular que se ha distorsionado tanto por la dirección del caudal de las aguas subterráneas como por las anisotropías naturales que se producen en el material del acuífero, y dichas consideraciones se deben tener en cuenta en la selección de los puntos de control y en el análisis de la información. Los acuíferos confinados presentan disminuciones de presión sobre una extensión de área mucho más amplia que los acuíferos freáticos y los puntos de muestreo deben ser más ampliamente espaciados. El control, si es posible desde el punto de vista económico, se debe focalizar en el impacto general del acuífero y no únicamente en el impacto de las cercanías del pozo o del campo de pozos.

organización específica encargada del control en cada instancia. El flujo de información desde el programa de control hasta los administradores de las aguas freáticas debe seguir una rutina clara. El control participativo por parte de los usuarios de las aguas subterráneas, particularmente de la extracción/el uso y también de los niveles del agua, puede ayudar a reducir los costos de control y también a integrar a los usuarios en la gestión del recurso.

El control puede requerir pozos de control específicamente construidos y diseñados. Dichos pozos pueden penetrar en una cantidad de estratos de diferentes acuíferos, que deben ser controlados y muestreados independientemente. Esto requerirá una serie de tubos de acceso que muestreen diferentes niveles en el pozo y 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 deben realizar algunos análisis en el lugar; otras muestras deben recopilarse y almacenarse de modos específicos diferentes según los parámetros que se analizarán (consultar la Tabla 9.4). La estructura de muestreo en campo se debe integrar con la capacidad y los fondos de laboratorio disponibles.

Tabla 9.3. Reglas básicas para el éxito de los programas de control de las aguas subterráneas

DISEÑO DE LAS REDES	<ul style="list-style-type: none"> ● Se deben definir los objetivos y adaptar el programa según corresponda. ● Se deben comprender los sistemas de caudal de las aguas subterráneas. ● Se deben establecer los objetivos para las ubicaciones de muestreo y los parámetros de control.
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	<ul style="list-style-type: none"> ● Se deben usar los pozos de observación y extracción correctamente construidos. ● El equipo de los campos y las instalaciones de los laboratorios deben ser apropiados para los objetivos. ● Se debe establecer un protocolo operativo completo y un sistema de manejo de información. ● El control de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales se debe integrar donde sea pertinente.
INTERPRETACIÓN DE DATOS	<ul style="list-style-type: none"> ● Se debe controlar regularmente la calidad de los datos mediante controles internos y externos. ● Los responsables de tomar decisiones deben contar con una gestión clara, conjuntos de datos relevantes. ● Se debe evaluar y revisar periódicamente el programa.

¿Cómo controlar?

El control debería realizarse de manera correcta y regulada, con procedimientos claramente diseñados para la recopilación de datos, el control de calidad, el almacenamiento de datos, el análisis de parámetros y la interpretación de datos. Debe haber una

¿Cuándo controlar?

El control es la recopilación de los datos de variante de tiempo de los puntos de muestreo, y el intervalo de tiempo entre las muestras debe ser tal de manera de evitar el gasto innecesario, al mismo tiempo que se asegura que se capturen todas las variaciones

significativas. Por lo general, el muestreo se realiza estacionalmente para capturar el impacto de la recarga y descarga natural. Cuando se ubican nuevas presiones externas en el sistema del acuífero, el programa de muestreo se debe ajustar para probar y capturar el impacto de dichas presiones.

Interpretación de datos.

Los datos del control de las aguas subterráneas deben analizarse en conjunto con los datos disponibles del control del agua superficial para la gestión integrada de los recursos hídricos. La comunicación efectiva de los resultados de la interpretación de los datos a los administradores de los recursos hídricos es un componente esencial de control, y el control tiene escaso valor si no se utiliza la información. Las herramientas complejas para la interpretación de datos tales como los modelos numéricos son útiles para la preparación de escenarios predictivos para la gestión de los recursos hídricos.

En resumen, se puede ver que el diseño y la implementación de una red de control pueden ser una tarea altamente compleja, pero incluso un poco de control básico puede ser útil, siempre que se realice de manera bien estructurada e inteligente.



3. ¿Cómo se debe compartir la responsabilidad del control de las aguas subterráneas?

La legislación sobre aguas subterráneas debe tomar medidas para controlar el uso, los niveles y la calidad de las aguas subterráneas. Tanto los administradores de los recursos hídricos como los usuarios del agua deben asumir parte de la responsabilidad de estas tareas.

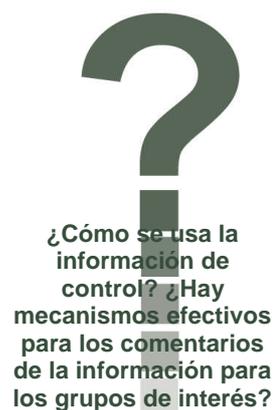
Una división típica de responsabilidades puede ser:

- ③ Gobierno central/autoridad nacional del agua: red de referencia básica.
- ③ Agencia de recursos hídricos regional/de la cuenca/del acuífero: regulación de los recursos y funciones de protección.
- ③ Contratistas de pozos de agua/compañías de perforación: obligaciones para registros de pozos y pruebas de bombeo.
- ③ Grandes extractores de aguas subterráneas: registros de extracciones medidas de pozos y niveles de agua.
- ③ Pequeños extractores de aguas subterráneas: comentario general sobre el rendimiento y las características de los pozos.
- ③ Posibles contaminadores de aguas subterráneas: control de calidad defensivo en el nivel del sitio.

El almacenamiento de datos de control de las aguas subterráneas es un tema importante y el almacenamiento de datos en el nivel territorial más bajo será más efectivo, pero las copias deben guardarse centralizadas para acceso público. Es fundamental que los datos sean accesibles para los administradores y usuarios del agua, pero que además que se guarden de manera segura para referencia/uso futuro.

El control participativo de las aguas subterráneas de parte de los usuarios puede ayudar a reducir la carga que recae en las autoridades y también puede incrementar la comprensión del sistema de las aguas subterráneas entre los usuarios del agua, pero puede ser difícil de implementar,

particularmente cuando el sistema de aguas subterráneas no está bajo presión. Requerirá una capacitación significativa y la creación de capacidades para establecer un régimen de control efectivo y participativo de las aguas subterráneas.



demanda de las aguas subterráneas. Luego, esto puede llevar al control participativo.

4. Diseño de la red de control

Medición del uso de las aguas subterráneas y respuesta de los acuíferos.

Mediante el control de la extracción y los cambios en los niveles de agua, se puede evaluar el efecto de bombeo del acuífero, lo que puede proporcionar información clave para la gestión de las aguas freáticas. Los campos de pozos por lo general están diseñados sobre la base de una **respuesta del acuífero prevista aceptable** para un cierto nivel de extracción, que se basa en el modelo numérico que simula diferentes escenarios de extracción. Las licencias de construcción y extracción de los campos de pozos se emiten sobre la base de dichas predicciones.

La tasa y la dirección del caudal de las aguas subterráneas son controladas por el gradiente, que se puede determinar a partir de los niveles de agua observados en el acuífero. Si ocurre un cambio en el nivel del agua del área y se conocen las porosidades del acuífero, se puede computar la recarga o descarga volumétrica.

El control del acuífero desempeña un papel importante en este contexto porque:

- ③ se utilizan datos históricos para calibrar modelos de acuíferos numéricos y permitir simulaciones confiables de futuros escenarios de extracción;
- ③ la medición (y el archivo) de la situación de referencia para los pozos de extracción nuevos es importante para suministrar información basal para la evaluación de cambios futuros;
- ③ las observaciones de los niveles de las aguas subterráneas y 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
- ③ la información recopilada también puede jugar un rol clave en el incremento de concientización entre los usuarios del agua, y así facilitar la presentación de las medidas requeridas de gestión de

¿Cuáles son los temas clave en el control de las fluctuaciones y tendencias del nivel de las aguas subterráneas?

Las mediciones del nivel de las aguas subterráneas en pozos de observación o de extracción se pueden realizar manual o automáticamente y siempre deben estar sujetas a controles de calidad. Los cambios observados en el nivel de las aguas subterráneas mediante control pueden deberse a causas muy diferentes y deben evaluarse cuidadosamente para determinar qué medida de gestión correcta se requiere.

Las redes de control de las aguas subterráneas deben estar diseñadas por especialistas sobre la base de requisitos de gestión con un enfoque especial en 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 controlar la extracción.

El control directo de la extracción de agua freática mediante medidores de agua es preciso pero costoso ya que los medidores se fijaron a todas las salidas de las bombas. Además, requiere la cooperación total de los usuarios del agua, que no siempre es fácil de lograr.

El control indirecto de la extracción de agua freática se puede realizar mediante:

- ③ La recopilación de datos indicativos: por ejemplo, el uso de las aguas subterráneas para el riego puede estimarse indirectamente usando horas de operación de bombas (del consumo de energía) multiplicado por la tasa promedio de bombeo.
- ③ El uso del sensor remoto: los sensores satelitales o aéreos pueden proporcionar mediciones objetivas a posiblemente grandes escalas, con una cobertura casi continua a bajo costo por kilómetro cuadrado. Estas técnicas se expanden rápidamente con diferentes sensores y enfoques todo el tiempo.

- ③ Puede evaluarse información como la extensión de área de tierra regada o la evaporación real diaria y acumulativa.
- ③ Los cálculos de cambio en la extracción regional de agua freática también pueden obtenerse a través de información sobre cambios demográficos y controles al azar sobre el uso del agua per cápita.
- ③ facilitar la advertencia temprana de la aparición de la contaminación de las aguas subterráneas de una actividad determinada y que permite la introducción oportuna de cualquier medida de control necesaria;
- ③ advertir por adelantado de la llegada del agua contaminada a una fuente importante de suministro de aguas subterráneas y así establecer provisiones para el tratamiento u otra

Tabla 9.4 Resumen de procedimientos y precauciones de muestreo para grupos específicos de parámetros de calidad de aguas subterráneas

GRUPO DETERMINADO	PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	MATERIALES PREFERIDOS	TIEMPO/TEMP. DE ALMACENAMIENTO	DIFICULTAD/COSTO OPERATIVO
Iones principales Cl, SO ₄ , F, Na, K	<ul style="list-style-type: none"> ● 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.	<ul style="list-style-type: none"> ● 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)	<ul style="list-style-type: none"> ● filtro sellado de 0,45 µm 	Cualquiera	1 día/4 °C	Moderado/bajo
Microbiológico TC, FC, FS	<ul style="list-style-type: none"> ● condiciones estériles ● muestra no filtrada ● análisis preferido en el lugar 	Vidrio oscuro	6 horas/4 °C	Moderado/bajo
Equilibrio del carbonato pH, HCO ₃ , Ca, Mg	<ul style="list-style-type: none"> ● muestra no filtrada bien sellada ● análisis en el lugar (pH, HCO₃) (Ca/Mg en laboratorio de base en muestra acidificada) 	Cualquiera	1 hora (150 días)	Moderado
Estado del oxígeno pE(EH), DO, T	<ul style="list-style-type: none"> ● célula de medición en el lugar ● evitar aeración ● no filtrada 	Cualquiera	0,1 hora	Alto/moderado
Orgánicos TOC, VOC, HC, ClHC, etc.	<ul style="list-style-type: none"> ● 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 freática

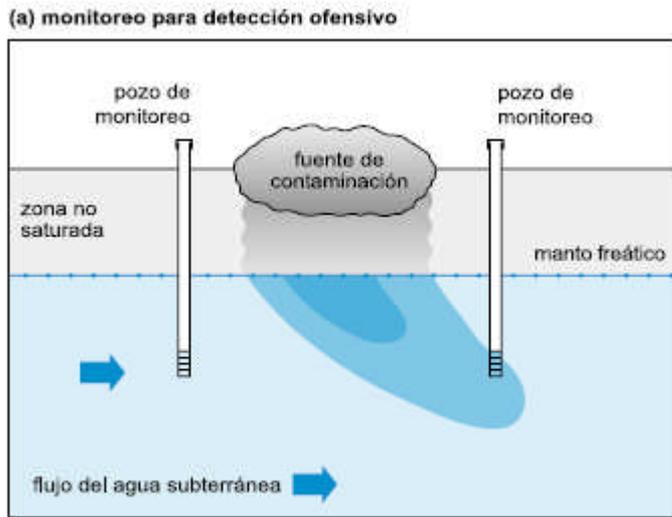
¿Cuál es el propósito del control de la calidad del agua?

El propósito del control de la calidad del agua es:

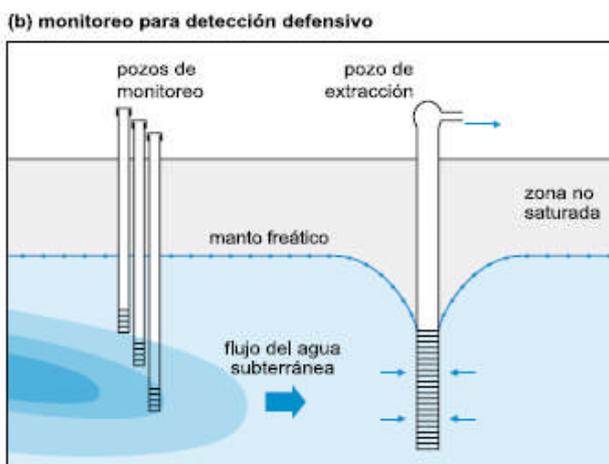
- mitigación;
- ③ identificar cualquier contaminación que alcance a un acuífero de una importante fuente de contaminación posible y así solucionarlo a tiempo;
- ③ establecer evidencia para determinar una obligación legal por incidentes de contaminación de las aguas subterráneas.

Figura 9.4 Representación esquemática del diseño de la red del control de la calidad de las aguas subterráneas para objetivos de gestión específicos.

a) Control ofensivo de detección



b) Control defensivo de detección



¿Cómo controlar la calidad de las aguas subterráneas?

Un enfoque primario del control de la calidad de las aguas subterráneas generalmente es el suministro de agua pública de los pozos de agua y manantiales por medio de sistemas de cañerías de distribución (Fig. 9.4). Inicialmente, se requiere un análisis "completo" de agua (idealmente), seguido de más análisis limitados de parámetros de indicadores cuidadosamente seleccionados con controles periódicos sobre otros parámetros importantes que son más complejos o costosos para analizar. Sin embargo, este tipo de control normalmente no corresponde a la condición de las aguas subterráneas in situ, lo cual es

esencial para los programas de control de los acuíferos que tienen que definir la distribución del subsuelo de las aguas subterráneas 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 manipulación de muestras puede causar la modificación de muestras principales tales como el ingreso de aire, la desgasificación y las pérdidas volátiles que necesitan procedimientos de muestreo apropiados. Además, tal muestreo brinda una muestra mixta con agua freática obtenida del estrato del acuífero intersectado por el pozo. Se puede usar el muestreo específico de profundidad para muestrear estratos/profundidades específicos y es necesario para determinar la calidad diferente

¿Quién realiza el control de las aguas subterráneas en su país? ¿Se utiliza la información recopilada para la gestión de los acuíferos?

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

En muchos casos, el requisito fundamental es obtener una advertencia temprana de posibles problemas de calidad que pueden amenazar las aguas freáticas y el sistema del acuífero. Para lograr esto, es necesario diseñar redes de control a fin de obtener muestras de aguas subterráneas que representen la calidad de la recarga más reciente. Con frecuencia, esto es considerablemente diferente de la calidad promedio de las aguas subterráneas en el almacenamiento del acuífero. Asimismo, los cambios verticales en la calidad de las aguas subterráneas deben evaluarse por muestreo específico de profundidad.

El rápido crecimiento de la eliminación de los desechos urbanos e industriales en la tierra y la agricultura intensiva requieren una mayor expansión del control centralizado en la gestión de la calidad de las aguas subterráneas.

5. Resumen

Hay varias razones para un control de aguas subterráneas. Cualquiera sea la razón, el control de las aguas subterráneas siempre es costoso y requiere recursos humanos capacitados y fondos durante un largo período. El control puede servir para garantizar equidad en el acceso a las aguas freáticas o para reducir el abuso de los permisos de extracción o de descarga de efluentes, etc. Donde sea posible, es beneficioso involucrar a los grupos

de interés y a los usuarios de las aguas subterráneas en el proceso de control.

El control es un componente fundamental en la gestión de los acuíferos y suministra la información necesaria para toma de decisiones de gestión a fin de proteger las aguas freáticas de la extracción y contaminación excesivas. Los impactos permanentes y negativos asociados con el bombeo excesivo y la contaminación se pueden evitar mediante un sistema de control bien diseñado y administrado que suministre información oportuna sobre las respuestas de los acuíferos al bombeo o la carga de contaminantes.

Referencias y lecturas 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>

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

EJERCICIO

Dividirse en grupos de 4 ó 5.

Diseñar un sistema de control ya sea para la calidad del agua freática o para la extracción del agua freática/niveles del agua. Explicar los pasos clave en el diseño en términos de:

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

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

Tiempo: 1 hora.

Comentarios: 15 minutos por grupo.

Módulo 10: Aguas freáticas y el cambio climático

Objetivos de aprendizaje:

- ③ Familiarizarse con los conceptos básicos de los impactos del cambio climático en las aguas subterráneas.
- ③ Entender las consecuencias principales del cambio climático en el sistema y los sectores dependientes de las aguas subterráneas.
- ③ Comprender los conceptos básicos de la gestión adaptativa de las aguas subterráneas.

1. Conceptos fundamentales

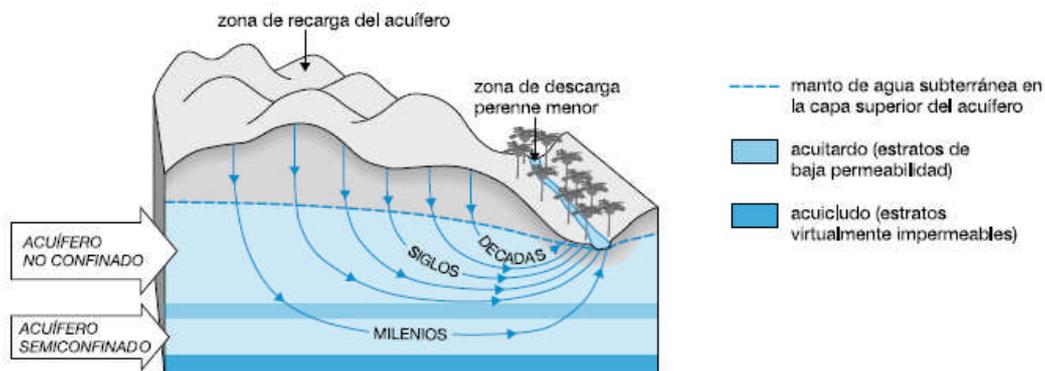
1.1 Aguas subterráneas y el ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico representa el movimiento continuo de agua entre la atmósfera, la superficie de la tierra (glaciares, mantos de

nieve, arroyos, pantanos y océanos), y suelos y rocas. El término “aguas subterráneas” se refiere al agua en suelos y formaciones geológicas que están completamente saturados. El caudal de las aguas subterráneas (consultar la Fig. 10.1) es conducido por la recarga (a través del perfil del suelo o por medio de canales de arroyos y pantanos) y la descarga (a través de evapotranspiración, extracción, infiltración, caudal de manantiales, etc.). La diferencia entre la recarga y la descarga determina el volumen del almacenamiento de las aguas subterráneas.

Cualquier variación climática tiene el potencial para afectar la recarga, la descarga y la calidad de las aguas subterráneas, ya sea directa o indirectamente. Un ejemplo de un impacto directo sería la recarga reducida debido a una disminución en las precipitaciones. La intrusión del 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 de las aguas subterráneas. También pueden verse afectadas la cantidad y la calidad de las aguas subterráneas a causa del

Figura 10.1: Recarga, flujo y descarga de las aguas subterráneas



¹ El contenido de este módulo se basa ampliamente en el informe preparado para la Economía del Banco Mundial y Análisis del Sector sobre el Cambio Climático y Agua (Banco Mundial, 2009). Para el estudio de caso sobre la recarga del acuífero gestionado, se recurre a Van Steenberg (2009). Ambas publicaciones están disponibles como documento complementario en este módulo. Se brinda otra información complementaria importante en las referencias.

cambio en el uso del agua y de la tierra.

1.2 Cambio climático y variabilidad hidrológica

El cambio climático es “un estado alterado del clima que se puede identificar mediante un

cambio en el medio y/o la variabilidad de sus propiedades y que persiste por un período extenso, generalmente por décadas o más tiempo”. Puede deberse a “procesos naturales internos o fuerzas externas, o a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra” (IPCC, 2007).

En los últimos 150 años, las temperaturas medias mundiales han aumentado con la tasa de calentamiento, y se han acelerado en los últimos 25 a 50 años. Este proceso continuará en el futuro (IPCC, 2007).

El clima también varía en respuesta al

fenómeno natural, o escalas estacionales, interanuales e interdecadales tal como la Oscilación Sur El Niño. La presencia y el grado de influencia de estos fenómenos naturales varían entre países e incluso entre cuencas hidrográficas.

Las variaciones del clima inducirán al cambio hidrológico. La Tabla 10.1 resume las variaciones del clima y la hidrología que se proyectan debido al calentamiento global. Los impactos posibles de estos cambios en las aguas freáticas se analizan en secciones posteriores.

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

Variables	Cambio futuro proyectado*
Temperatura	Se proyecta que las temperaturas aumentarán en el siglo XXI, con patrones geográficos similares a los observados en las últimas décadas. Se espera que el calentamiento sea el mayor en la tierra y las más altas latitudes nortes, y menor en los océanos del sur y partes del océano Atlántico Norte. Es muy probable que los extremos de temperaturas altas y las olas de calor sean más frecuentes.
Precipitaciones	A escala mundial, se proyecta que aumentarán las precipitaciones, pero se espera que varíen geográficamente; algunas áreas probablemente experimenten un aumento y otras una disminución en las precipitaciones promedio anuales. Los aumentos en el volumen de las precipitaciones son probables en latitudes altas. En latitudes bajas, tanto los aumentos como las disminuciones regionales son probables en las precipitaciones en zonas de tierra. Se espera que muchas (no todas) de las áreas de precipitaciones actualmente elevadas experimenten aumentos en las precipitaciones, mientras que muchas áreas con bajas precipitaciones y elevada evaporación tendrán disminuciones. Las áreas afectadas por las sequías probablemente aumenten y se espera que aumenten también los eventos de precipitaciones extremas en frecuencia e intensidad. Es probable que cambie la proporción entre precipitación y nieve debido a las temperaturas más altas.
Aumento del nivel del mar	Se espera que el nivel promedio mundial del mar se eleve debido al calentamiento de los océanos y al derretimiento de los glaciares. Las proyecciones más optimistas del aumento promedio mundial del nivel del mar a finales del siglo XXI varían entre 0,18 y 0,38 m, pero un escenario extremo estima un aumento de un máximo de 0,59 m. En las regiones costeras, los niveles del mar probablemente también se vean afectados por eventos de olas más grandes y mareas de tempestades.
Evapotranspiración	La demanda evaporativa, o la evaporación posible, está influenciada por la humedad atmosférica, la radiación neta, la velocidad del viento y la temperatura. Generalmente se proyecta un aumento, como resultado de las temperaturas más altas. La transpiración puede aumentar o disminuir.
Escurrimientos	Es probable que aumenten los escurrimientos en latitudes más altas y en algunos trópicos húmedos, que incluyen áreas populosas del este y el sudeste asiático, y que disminuyan en muchas latitudes medias y trópicos secos, que actualmente tienen aguas bajo presión. Es probable que disminuyan los volúmenes de agua almacenados en glaciares y mantos de nieve, lo que resultaría en disminuciones en los caudales de verano y otoño en las áreas afectadas. También se pueden observar cambios en la estacionalidad de los escurrimientos debido al rápido derretimiento de los glaciares y a la menor caída de precipitaciones como nieve en las áreas alpinas.
Humedad del suelo	Se proyecta una disminución del contenido de humedad promedio anual del suelo en muchas partes de los subtrópicos y generalmente 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, el cono de América del Sur, y otras regiones con aumento substancial en las precipitaciones.

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

2. Impactos del cambio climático en las aguas subterráneas

2.1 Recarga

Las recargas de las aguas subterráneas pueden suceder localmente a partir de los cuerpos de aguas superficiales o en forma difusa a partir de las precipitaciones por medio de la zona de suelo no saturado. Las precipitaciones son los conductores climáticos primarios para la recarga de las aguas subterráneas. La temperatura y las concentraciones de CO₂ también son importantes, ya que afectan a la evapotranspiración y la porción de precipitaciones que puede drenar a través del perfil del suelo a los acuíferos. Otros factores que afectan la recarga de aguas subterráneas incluyen la cobertura de la tierra, suelos, geología, relieve topográfico y tipo de acuífero. Las únicas estimaciones de escala mundial de impactos del cambio climático en la recarga de las aguas subterráneas son aquellas que desarrollan Döll y Floerke (2005). De acuerdo con sus resultados, la recarga, cuando se promedia mundialmente para el año 2050, aumentará un 2%. Esto es menor que los aumentos proyectados del 4% y 9% para las precipitaciones anuales y los escurrimientos. Las variaciones geográficas incluyen:

- ③ disminuciones significativas en la recarga de aguas subterráneas (>70%) para el noreste de Brasil, la parte occidental del África meridional y las áreas a lo largo de la cuenca sur del

mar Mediterráneo;

- ③ recarga aumentada de las aguas subterráneas (mayores a un 30%) a través de grandes áreas, que incluyen el Sahel, China del Norte, EE. UU. occidental y Siberia;
- ③ disminuciones posiblemente significativas en la recarga de aguas subterráneas para Australia, EE. UU. y España, aunque los resultados varían significativamente entre los modelos climáticos en dichas áreas.

Dichos cálculos mundiales identifican regiones donde el agua freática es posiblemente vulnerable al cambio climático. Sin embargo, no son apropiados para la reducción de escala a un país o escala de la cuenca hidrográfica. Los sistemas de precipitaciones y de aguas subterráneas pueden variar significativamente entre cuencas hidrográficas y datos locales, y se necesitará la información para calcular los cambios en el nivel de la cuenca hidrográfica o del país.

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

2.2 Descarga

Los impactos de los cambios climáticos en la descarga de las aguas subterráneas se comprenden en menor medida. En parte esto refleja las dificultades para medir la descarga, y así una falta de información para cuantificar los procesos de descarga. Históricamente, las

Figura 10.2 Resumen de los impactos climáticos en la recarga en diferentes condiciones climáticas.

Regiones de altitud alta	Regiones templadas	Regiones áridas y semiáridas
<p>La recarga puede ocurrir antes debido a las temperaturas de invierno más cálidas, lo que cambiará el derretimiento de primavera de primavera a invierno.</p> <p>En áreas donde el gelisuelo se derrite debido a mayores temperaturas, es probable que ocurra un aumento de la recarga.</p>	<p>Los cambios en la recarga anual variarán de acuerdo con el clima y otras condiciones locales.</p> <p>En algunos casos, se puede observar poco cambio en la recarga anual; sin embargo, la diferencia entre la recarga de verano e invierno puede aumentar.</p>	<p>En muchas zonas áridas y semiáridas que ya poseen agua bajo presión, es probable que disminuya la recarga de las aguas subterráneas.</p> <p>Sin embargo, en aquellos lugares donde las precipitaciones copiosas y las inundaciones son las principales fuentes de recarga, se puede esperar un incremento en la recarga.</p> <p>En muchas zonas áridas y semiáridas que ya poseen agua bajo presión, es probable que disminuya la recarga de las aguas subterráneas. Sin embargo, en aquellos lugares donde las precipitaciones copiosas y las inundaciones son las principales fuentes de recarga, se puede esperar un incremento en la recarga. Ejemplo: Acuíferos aluviales donde la recarga se produce por medio de canales de arroyos o acuíferos de lechos de rocas donde las recargas se producen por medio de la infiltración directa de precipitaciones a través de fracturas o canales de disolución.</p>

evaluaciones de las aguas subterráneas también se han centrado en la comprensión de la cantidad de agua que ingresa en el sistema de las aguas subterráneas y si esto es apropiado para el uso humano. Menor consideración se les ha dado a los soportes de aguas subterráneas de ecosistemas, tales como la vegetación terrestre y el flujo de aguas subterráneas a los manantiales, arroyos, pantanos y océanos.

Para la evapotranspiración, los impactos directos de los cambios climáticos incluyen: (1) cambios en el uso de las aguas subterráneas de la vegetación debido al aumento de la temperatura y las concentraciones de CO₂, y (2) cambios en la disponibilidad del agua que se evaporará o transpirará, principalmente debido a cambios en el régimen de precipitaciones. Es probable que la mayor duración y frecuencia de las sequías (debido al aumento de las temperaturas y a una mayor variación de las precipitaciones) incremente los déficits de humedad del suelo. En aquellos lugares donde se agota el agua del suelo, la vegetación puede depender cada vez más de las aguas subterráneas para la supervivencia (si las aguas subterráneas se producen cerca de la zona de raíces). Durante los períodos de sequía, esto puede llevar al aumento de la evapotranspiración de las aguas subterráneas. Los impactos indirectos asociados con el cambio en el uso de la tierra también pueden afectar la evapotranspiración de las aguas subterráneas.

El flujo de las aguas subterráneas a *los cuerpos de aguas superficiales* será impulsado por los niveles de carga de agua entre el agua freática y el agua superficial. En consecuencia, los efectos del cambio climático son indirectos, a través de alteraciones para la recarga y otros mecanismos de descarga (por ejemplo, la evapotranspiración). Si el agua freática cae por debajo de los niveles del agua superficial, la descarga del agua freática ya no puede ocurrir más (y viceversa). En regiones semiáridas y áridas, es probable que la dependencia de las aguas subterráneas para mantener el flujo base en arroyos permanentes sea mayor durante períodos extendidos de sequía.

El bombeo de las aguas subterráneas también forma un mecanismo para la descarga de aguas freáticas. Se proyectan aumentos en la variabilidad de las precipitaciones que probablemente resulten en sequías e inundaciones más intensas, que afectan la confiabilidad de los suministros de agua

superficial. Por lo tanto, la demanda humana de aguas subterráneas probablemente aumente para compensar esta disponibilidad de agua superficial en disminución y, donde esté disponible, se convertirá en un aspecto fundamental para que las comunidades se adapten al cambio climático.

2.3 Almacenamiento de las aguas subterráneas

El almacenamiento de las aguas subterráneas es la diferencia entre la recarga y la descarga en plazos en los que ocurren estos procesos, que van de días a miles de años. El almacenamiento está influenciado por las propiedades específicas de los acuíferos, el tamaño y el tipo. 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 aguas subterráneas 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 freática es renovable o no (recarga contemporánea) o comprende 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 ampliamente a continuación.

2.4 Calidad del agua

En muchas áreas, los acuíferos proporcionan una fuente importante de suministro de agua dulce. Mantener la calidad del agua en estos acuíferos es esencial para las comunidades y las actividades agrícolas que dependen de ellas. Las propiedades termales y químicas de las aguas freáticas pueden verse afectadas por el cambio climático. En acuíferos de poca profundidad, las temperaturas de las aguas freáticas pueden aumentar debido a las temperaturas crecientes del aire. En regiones áridas y semiáridas, el aumento de la evapotranspiración puede llevar a la salinización de las aguas freáticas. En acuíferos costeros, el aumento del nivel del mar y las mareas de tempestad probablemente lleven a la intrusión del agua de mar y a la salinización de las aguas freáticas. Los cambios en la recarga y descarga (consultar más arriba)

probablemente cambien la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación difusa.

En las áreas donde se espera que aumente la intensidad de las precipitaciones, los contaminantes (pesticidas, materia orgánica, metales pesados, etc.) serán cada vez más arrastrados de los suelos a los cuerpos de agua. En aquellos lugares donde la recarga de los acuíferos se produce a través de estos cuerpos de aguas superficiales, la calidad de las aguas freáticas probablemente se deteriore. En los casos en que se proyecta una disminución de la recarga, la calidad del agua probablemente también disminuya debido a la menor dilución y en algunos casos también puede llevar a la intrusión de agua de menor calidad de acuíferos vecinos.

3. Impactos de factores no climáticos

Si bien el cambio climático probablemente tenga impactos adversos en la cantidad y la calidad de las aguas freáticas, en muchas áreas esto parecerá pequeño en comparación con los impactos no climáticos que incluyen el crecimiento de la población mundial, la demanda de alimentos (que origina la agricultura de riego), el cambio en el uso de la tierra y los factores socioeconómicos que influyen en la capacidad de gestionar adecuadamente las aguas freáticas.

Históricamente, tanto en los países desarrollados como en los subdesarrollados, la demanda de las aguas freáticas se ha gestionado de manera deficiente. La baja inversión en las investigaciones y la gestión de las aguas freáticas durante el siglo XX, un momento de uso intensivo del agua freática para la producción agrícola de cultivos, ha colocado a las aguas freáticas bajo presión. También ha sido un factor el uso incrementado de las aguas freáticas asociado con el crecimiento de la población, particularmente en las zonas áridas y semiáridas donde el agua es escasa. Se espera que el crecimiento futuro de la población mundial coloque a las aguas freáticas bajo mayor presión.

El cambio en el uso de la tierra también afecta a las aguas freáticas. El grado y la magnitud del impacto dependerán de las condiciones locales. En una pequeña captación saheliana en Nigeria, Seguis y cols. (2004) descubrieron que la transición de un período húmedo bajo una cobertura de la tierra "natural" (1950) a un

período seco bajo una cobertura de la tierra cultivada (1992) resultó en un incremento del 30 al 70% en los escurrimientos. La recarga en esta captación ocurrió preferentemente a través de estanques, y así el incremento de escurrimientos causó un aumento significativo y continuo del nivel freático en el mismo período.

En una captación del sudoeste de Uganda, la eliminación de la vegetación ha llevado a una reducción del 90% en los rendimientos de manantiales de agua freática locales (Mutiibwa, 2008). La eliminación se debió al crecimiento de la población y a la necesidad de cultivar y anegar la tierra. La pérdida de la cobertura de vegetación ha resultado en menor intercepción e infiltración de las precipitaciones y mayores escurrimientos. El mecanismo de recarga dominante es la filtración directa de las precipitaciones y, por lo tanto, los cambios en la relación entre precipitaciones y escurrimientos provocaron una reducción en la recarga de aguas freáticas.

Una variedad de factores técnicos y socioeconómicos han contribuido a la condición actual de las aguas freáticas y éstas también influirán en su gestión en el futuro. La información inadecuada para comunicar la asignación de aguas freáticas; la falta de personal calificado; la contaminación creciente de los recursos hídricos por la agricultura, las industrias y la minería; la extracción descontrolada de agua freática; la falta de planificación del uso de la tierra; la capacidad financiera inadecuada y la falta de educación y conciencia entre los grupos de interés son sólo algunos de los desafíos que debemos superar. Mutiibwa (2008) concluyó en que la gestión adecuada de las aguas freáticas requiere no sólo una capacidad técnica y financiera, sino también "buena voluntad política".

4. Consecuencias para los sistemas y sectores dependientes de las aguas freáticas

Los sistemas dependientes de las aguas freáticas comprenden aquellas comunidades, industrias y entornos que dependen del agua freática para el suministro de agua. La dependencia de los países subdesarrollados en las aguas freáticas es alta debido a la

escasez de agua o a la falta de agua potable segura de los suministros de aguas superficiales. El cambio climático y otras presiones pueden comprometer la disponibilidad y la calidad de las aguas freáticas con consecuencias significativas para la salud humana y medioambiental, los medios de vida, la seguridad de los alimentos y 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 subdesarrollados. La demanda incrementada y el aumento posible de la gravedad de las sequías pueden hacer que se sequen estos pozos de poca profundidad. Con alternativas limitadas para los suministros seguros de agua potable (el agua superficial puede ser escasa o estar contaminada y los pozos más profundos pueden no ser accesibles desde el punto de vista económico), la pérdida de aguas freáticas forzaría a las personas a utilizar recursos hídricos inseguros o caminar largas distancias para obtener agua. Esto tiene impactos asociados para la salud humana y la capacidad (tiempo) para ganar un ingreso u obtener educación.

Los medios de vida de las poblaciones rurales son muy dependientes de la tierra, el agua y el medio ambiente con alternativas limitadas en comparación con las contrapartes urbanas. La disponibilidad reducida del agua puede causar graves adversidades. La sequía de pastos y la escasez de agua potable para el ganado pueden exterminar manadas que son fuentes de ingreso, alimentos y seguridad para las familias. Las empresas de riego a pequeña escala, generalmente dependientes de las aguas freáticas de poca profundidad, también pueden fallar.

En los casos en que se proyectan incrementos de eventos de precipitaciones copiosas, las inundaciones pueden deslavar las instalaciones de saneamiento, esparciendo el agua residual y quizás contaminando posiblemente las aguas freáticas. Esto puede llevar a un riesgo mayor de enfermedades diarreicas. El riesgo de dicha contaminación probablemente sea mayor en las áreas urbanas debido al incremento en la densidad de la población y la concentración de

contaminantes de los recursos. En las regiones costeras, la intrusión de agua de mar puede limitar la capacidad del agua freática de abastecer a las poblaciones actualmente grandes y de rápida expansión.

4.2 Agricultura

A nivel mundial, la agricultura de riego es el sector más amplio del uso del agua. En las áreas donde la disponibilidad de las aguas freáticas es reducida, el riego puede volverse inviable, particularmente si no puede satisfacerse la demanda del suministro de agua potable en el área (una prioridad mayor). Alternativamente, es posible que el riego deba producirse en una base oportunista durante períodos de disponibilidad del agua o bien adoptar recursos hídricos alternativos (como agua residual reciclada) o tecnologías y métodos para una mayor eficiencia en el uso del agua. En las áreas donde se incrementa la disponibilidad de las aguas freáticas, la agricultura se puede beneficiar. Sin embargo, el nivel freático superficial creciente también puede causar problemas tales como la salinización del suelo y el anegamiento del agua.

4.2 Ecosistemas

El impacto de los cambios climáticos probablemente acentúe la competencia entre los usos humanos y ecológicos del agua, particularmente durante períodos prolongados de sequías. Las consecuencias medioambientales incluyen la reducción o eliminación del caudal intrínseco y los refugios para animales y plantas acuáticas, la muerte regresiva de vegetación dependiente del agua freática y la reducción del suministro de agua para la fauna terrestre. En las áreas donde ocurre la salinización, por ejemplo, en regiones costeras, podrían perderse las especies sensibles a la sal. Otras fuentes de contaminación de las aguas freáticas también pueden afectar negativamente a los ecosistemas.

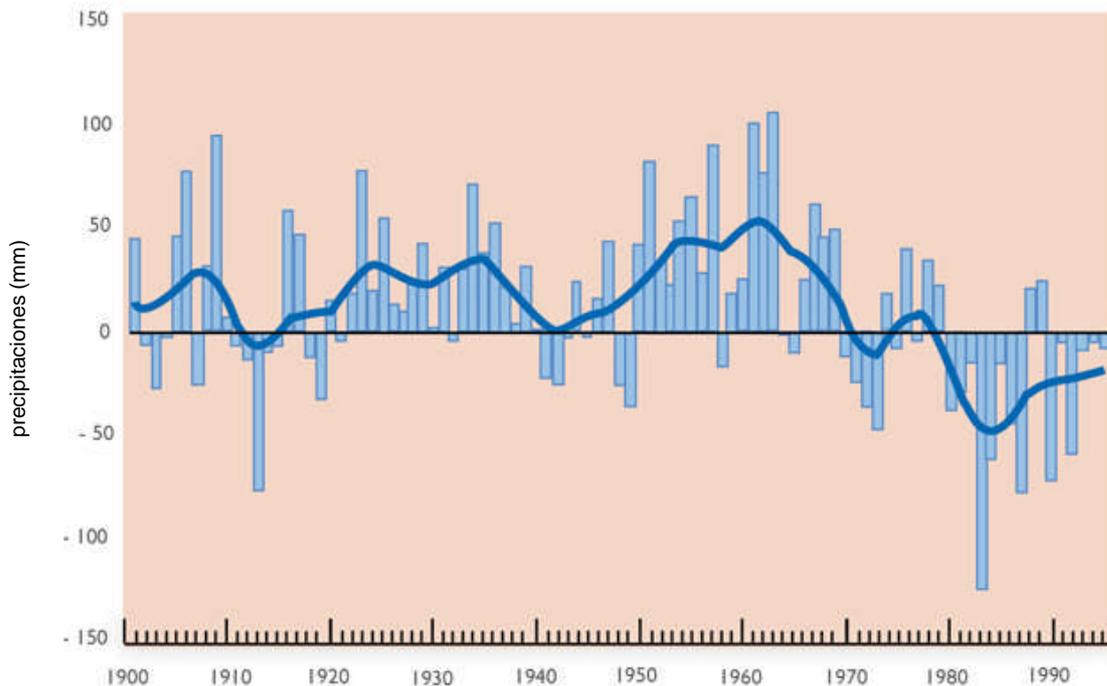
4.4 Incertidumbres y brechas de conocimiento

Cuantificar los impactos del cambio climático en las aguas freáticas es difícil y está sujeto a incertidumbres en proyecciones climáticas

La variabilidad climática natural a menudo también se ignora con el enfoque puesto únicamente en los impactos del cambio climático antropogénico (Figura 10.3).

La comprensión actual de los impactos del cambio climático es deficiente. Sin embargo,

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

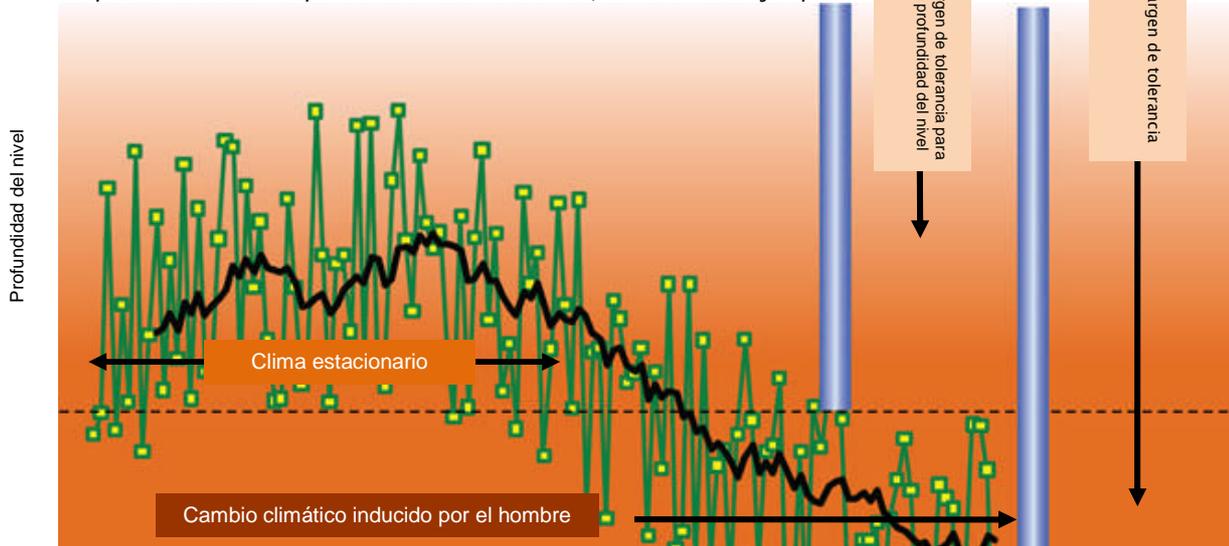


futuras (particularmente las precipitaciones) y a la influencia relativa de otros factores, por ejemplo, la respuesta de la vegetación al cambio en el dióxido de carbono. Los estudios de los impactos del cambio climático en la recarga de aguas freáticas se han enfocado mayormente en cuantificar los impactos directos de los patrones cambiantes de precipitaciones y temperaturas, dando por sentado que otros parámetros permanecen constantes. Pocos estudios han tratado los efectos climáticos indirectos tales como el cambio en el uso de la tierra, la cobertura de la vegetación y las propiedades del suelo.

hay una cantidad de organizaciones que comienzan a mejorar la comprensión de los impactos del cambio climático en las aguas freáticas. Esto incluye la iniciativa Groundwater Resources Assessment under the Pressures of Humanity and Climate Changes (GRAPHIC) de la UNESCO, con la que el Centro Internacional de Evaluación de las Aguas Freáticas (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 las aguas freáticas, parece que no hay ningún enfoque coordinado para desarrollar respuestas (adaptación).

Figura 10.4 Margen de tolerancia y adaptación al cambio climático inducido por el hombre (regraficado de Willows y Connell, 2003).

El gráfico muestra la variación en un parámetro hidrológico hipotético (por ejemplo, el nivel del 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 del agua pueden caer por debajo de la profundidad de un pozo o agujero (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 los años durante los cuales los niveles del 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, extender el pozo o introducir un taladro más profundo), el margen de tolerancia del sistema se extiende a fin de evitar el daño permanente. Tenga en cuenta que pocas veces las adaptaciones deben responder a un estímulo único, como en este ejemplo.



5. Adaptación a los cambios climáticos

5.1 ¿Qué es la adaptación?

Los sistemas dependientes de las aguas freáticas tienen la capacidad de afrontar cierto nivel de variabilidad hidrológica (en calidad y cantidad del agua) sin sufrir deterioros (Figura 10.4). Este “margen de tolerancia” varía con la sensibilidad del sistema dependiente de las aguas freáticas a los cambios en diferentes atributos del agua freática (por ejemplo, calidad del agua, profundidad, presión, flujo de descarga). Los extremos de la variabilidad climática natural (por ejemplo, sequías prologadas) pueden significar que algunos atributos del agua freática queden fuera del margen de tolerancia del sistema, lo que resulta en un daño socioeconómico y/o medioambiental. En algunas áreas, el cambio climático inducido por el hombre amenaza con cambiar el entorno hidrológico de modo que su estado queda fuera del margen de tolerancia del sistema con mayor frecuencia, perpetuando posiblemente ese daño (Fig. 10.4).

Las adaptaciones son ajustes realizados en sistemas naturales o humanos en respuesta a las condiciones climáticas experimentadas o proyectadas o sus efectos o impactos beneficiosos o adversos. En el contexto de este informe (y la Figura 10.4), se encargan de reducir la vulnerabilidad de los sistemas dependientes de las aguas freáticas al cambio climático y la variabilidad hidrológica. Las adaptaciones esencialmente son respuestas de gestión a los riesgos asociados con la variabilidad del clima y el cambio climático.

5.2 Gestión de adaptación de las aguas freáticas

Esta sección contiene una revisión de las opciones de adaptación a los riesgos de los sistemas dependientes del agua freática al cambio climático y la variabilidad hidrológica. Se estructura alrededor de cinco grupos de opciones analizados en la sección anterior, donde sean apropiados, y cinco temas principales del proceso de las aguas freáticas:

- ③ Gestión de la recarga de las aguas freáticas.
- ③ Protección de la calidad de las aguas freáticas.

- ③ Gestión del almacenamiento de las aguas freáticas.
- ③ Gestión de la demanda de aguas freáticas.
- ③ Gestión de la descarga de aguas freáticas.

bien el último aspecto también se trata en la Sección 6, es relevante aquí ya que las actividades en las áreas de recarga de aguas subterráneas que llevan a la contaminación de dichas aguas también reducen la disponibilidad del recurso.

El informe contextual (Banco Mundial, 2009) ofrece una perspectiva detallada de las opciones de adaptación para estos temas en formato tabular. A continuación, se presenta una breve descripción de los asuntos:

Gestión de la recarga de las aguas freáticas: Las áreas de recarga de aguas subterráneas pueden gestionarse para proteger o mejorar los recursos hídricos y para mantener o mejorar la calidad del agua. Si

Protección de la calidad de las aguas freáticas: el cambio climático y la variabilidad hidrológica pueden afectar la calidad del agua freática disponible para el uso en un sistema dependiente de las aguas freáticas. Esto es particularmente cierto para las aguas freáticas en pequeñas islas y zonas costeras que se proyectan a estar sujetas al aumento del nivel del mar. También es cierto en los casos donde la seguridad reducida del suministro lleva a los administradores de los recursos hídricos a

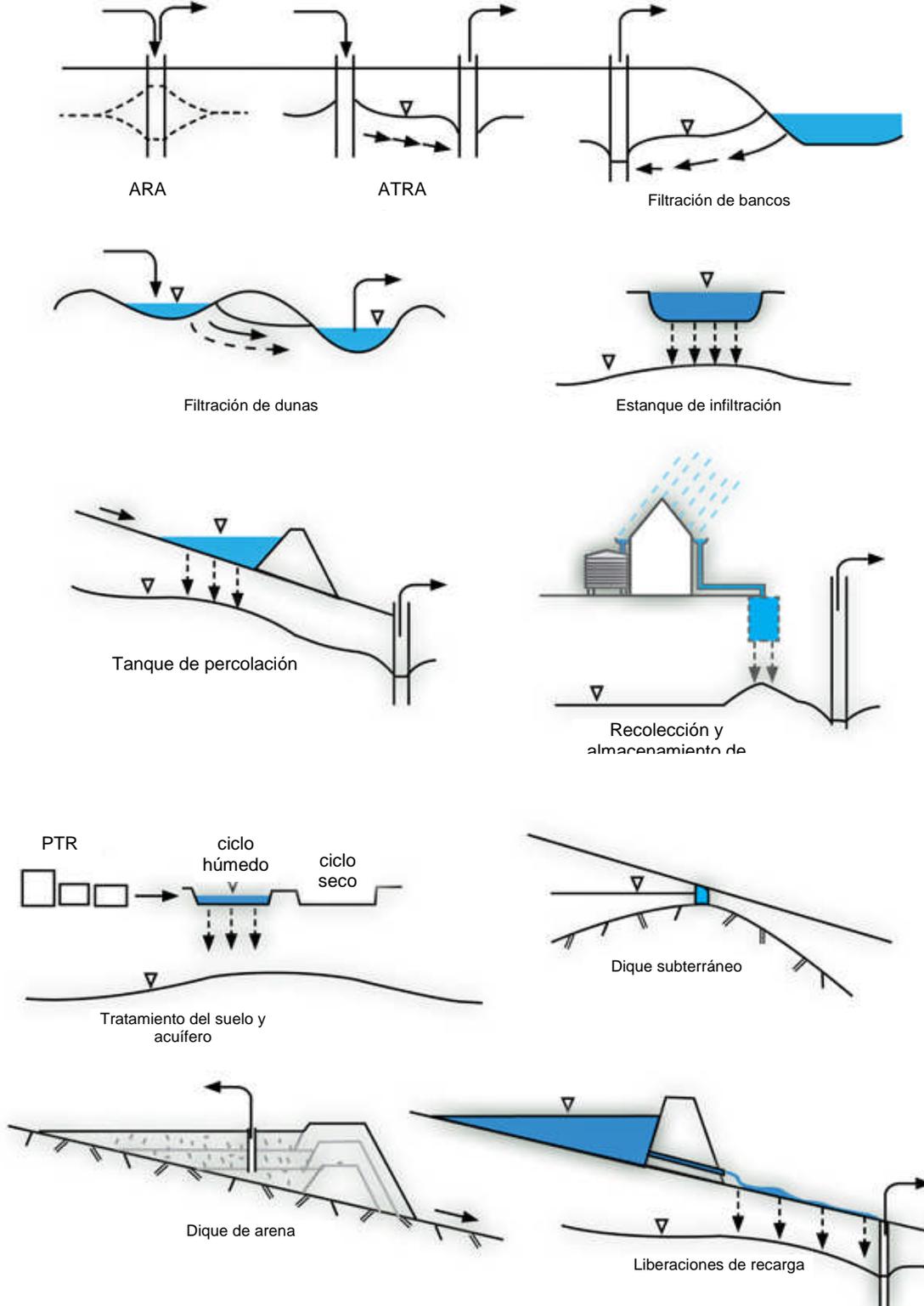
Tabla 10.2. Opciones de adaptación: creación de capacidad adaptativa

Grupo de opción de adaptación	Adaptaciones
<p>Capital social Estas opciones se encargan de permitirles a las comunidades comprender los riesgos climáticos e hidrológicos y que participen activamente en las respuestas de la gestión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Educación y capacitación: mejorar la comprensión de la comunidad y los grupos de interés sobre los riesgos climáticos y su capacidad para participar en las respuestas de gestión y/o generar, modificar o aplicar adaptaciones. ● Gobernabilidad: delegar cierto nivel de responsabilidad para la planificación y la gestión de las aguas freáticas para las comunidades locales a fin de aumentar la "propiedad" local de problemas y respuestas. ● Compartir información: estimular procesos para compartir la información con respecto a los riesgos climáticos y las respuestas dentro de las comunidades vulnerables y entre las mismas.
<p>Información de recursos Reunir y proporcionar información sobre los riesgos climáticos y el sistema de las aguas freáticas que se gestiona.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Comprender el clima: análisis de información histórica y paleoclimática para comprender los conductores naturales de la variabilidad climática. ● Proyecciones sobre el cambio climático: desarrollo de proyecciones del cambio climático de escala reducida para el área de interés. ● Cuantificar el sistema de aguas freáticas: comprender la escala y las características de los acuíferos; la recarga, los procesos de transmisión y descarga; el equilibrio del agua (incluido el uso); la calidad del agua, etc. ● Control, evaluación e informe del estado de las aguas freáticas.
<p>Investigación y desarrollo Actividades de investigación y desarrollo para mejorar la efectividad de las respuestas adaptativas al cambio climático y la variabilidad hidrológica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Evaluaciones del impacto climático: estudios para definir mejor la naturaleza de los impactos de cambios climáticos proyectados en el sistema de aguas freáticas y los riesgos climáticos e hidrológicos relacionados. ● Gestión de la recarga de aguas freáticas: métodos. ● Gestión del almacenamiento de las aguas freáticas: tecnologías, gestión de los recursos hídricos y otras prácticas para maximizar la capacidad de almacenamiento de agua freática y la disponibilidad de los recursos. ● Protección de la calidad del agua: tecnologías y sistemas de gestión para permitir el tratamiento y la reutilización del agua contaminada y evitar la contaminación de agua de mejor calidad por agua de calidad inferior. Protección de los acuíferos isleños y costeros de los efectos del aumento del nivel del mar. ● Gestionar la demanda de las aguas freáticas: tecnologías y prácticas de gestión que mejoren la eficiencia de los usos urbanos y agrícolas del agua, reduzcan los requisitos de la calidad del agua para usos no potables o que reduzcan la necesidad del agua.
<p>Gobernabilidad e instituciones Mejorar la gobernabilidad y los acuerdos institucionales para la gestión de las aguas freáticas. Regímenes de planificación mejorados para el agua freática y los sistemas humanos y naturales relacionados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Gestión conjunta del agua superficial y el agua freática en las áreas rurales. Gestión integrada del ciclo del agua (incluidas diferentes fuentes potables y no potables en áreas urbanas). ● Planificación multijurisdiccional y disposiciones de gestión de recursos para sistemas de acuíferos a gran escala que traspasan los límites jurisdiccionales. ● Definir las asignaciones del agua basadas en los recursos compartidos más que en el volumen. ● Establecer y regular estándares para, por ejemplo, la planificación del uso de la tierra y las aguas freáticas, la gobernabilidad del agua, la gestión medioambiental. ● Planificación de la respuesta a las sequías.
<p>Mercados Establecimiento y operación de mercados para el agua y los servicios medioambientales relacionados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Mercados: establecimiento y operación de mercados para el comercio del agua dentro de un sistema de aguas freáticas. Mercado para determinar el precio del agua. ● Derechos de propiedad: establecer el libre de deudas y los derechos de propiedad de las aguas freáticas.

incluir agua de menor calidad en el flujo de suministro (por ejemplo, a través de la recarga del acuífero) o donde el aumento de presión sobre las aguas freáticas lleva a un uso incrementado y a un mayor riesgo de contaminación de un acuífero de alta calidad por cualquier acuífero de menor calidad subyacente o suprayacente.

Gestión del almacenamiento de las aguas freáticas: si bien se reconoce a los acuíferos como almacenamientos subterráneos de agua, raras veces se operan con el mismo nivel de precisión y control como importantes almacenamientos de agua superficial. Hay oportunidades para gestionar los almacenamientos de agua freática de manera más efectiva y para reducir la vulnerabilidad

Figura 10.5 Ejemplos de enfoques de recarga gestionada de acuíferos (RGA). ARA: almacenamiento y recuperación de acuíferos; ATRA: almacenamiento, tratamiento y recuperación de acuíferos; PTR: planta de tratamiento residual. Fuente: Peter Dillon (comunicación personal, 2008)



de los sistemas que dependen de ellos para el cambio climático y la variabilidad hidrológica.

Gestión de la demanda de aguas freáticas: Las adaptaciones al cambio climático de los recursos hídricos con frecuencia operan en la gestión de la demanda. En muchos casos, las adaptaciones para sistemas dependientes del agua freática y del agua superficial serán idénticas.

En áreas donde el cambio climático reduce la seguridad del suministro de los recursos hídricos superficiales, es probable que haya un mayor enfoque en la utilización de las aguas freáticas como una adaptación al cambio climático. Esto requerirá mayor atención a la gestión de la demanda de aguas freáticas y de la gestión conjunta con el agua superficial. Es posible que también se pueda utilizar el agua freática como un almacenamiento de caudales de agua superficial sobrante durante períodos de suministro abundante para el uso en períodos de escasez de agua superficial.

Gestión de la descarga de aguas freáticas: Los sistemas de acuíferos descargan el agua en la superficie de la tierra, ríos, lagos, pantanos o cerca de entornos marítimos. La descarga, recarga y utilización se encuentran en un estado de equilibrio dinámico, de manera que los cambios en la recarga o utilización finalmente resultan en un cambio en la descarga. En algunos entornos, es posible aumentar la disponibilidad de los recursos (para el uso de los sistemas humanos) mediante la reducción de la descarga de aguas freáticas.

5.3 Creación de capacidad adaptativa para la gestión de las aguas freáticas

La creación de capacidad adaptativa es un tema fundamental transversal o que al menos concierne a múltiples temas. Las opciones de creación de capacidad adaptativa generalmente se encargan de proporcionar las condiciones necesarias para que otras formas de adaptación se implementen

satisfactoriamente, en lugar de gestionar o evitar los riesgos hidrológicos o climáticos directamente. A continuación, se ofrecen algunas opciones de adaptación del Banco Mundial (2009) para ilustrar la importancia del tema (Tabla 10.2).

6. Ejemplo de adaptación: gestión de la recarga y el almacenamiento del acuífero

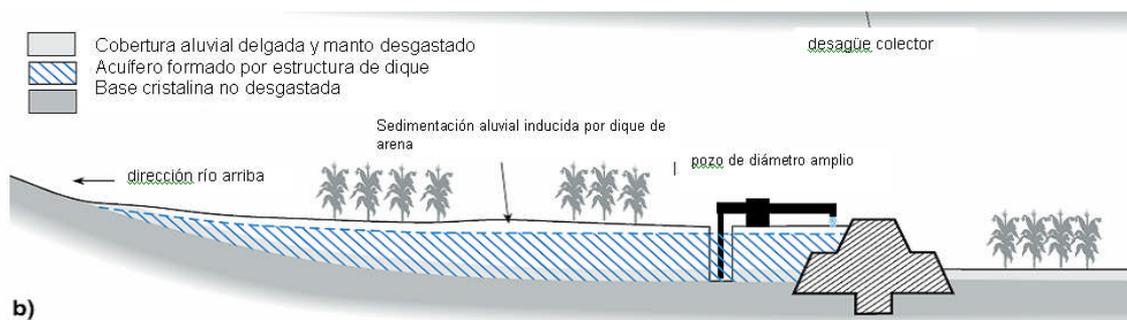
6.1 Recarga gestionada del acuífero

La recarga gestionada del acuífero (RGA) implica la creación de infraestructura y/o la modificación del paisaje para mejorar intencionalmente la recarga de las aguas freáticas (Fig. 10.5). Constituye una de las respuestas de adaptación de "gestión de recarga del acuífero" y se considera cada vez más una opción para mejorar la seguridad de los suministros de agua en las áreas donde son escasos (Gale, 2005).

La RGA se encuentra entre las oportunidades de adaptación más significativas para los países subdesarrollados que buscan reducir la vulnerabilidad al cambio climático y la variabilidad hidrológica. Tiene varios beneficios posibles, entre ellos, almacenar el agua para uso futuro, estabilizar o recuperar los niveles de agua freática en acuíferos sobreexplotados, reducir las pérdidas por evaporación, gestionar la intrusión salina o el hundimiento de la tierra, y permitir la reutilización del agua residual o pluvial.

La implementación de la RGA requiere oportunidades adecuadas de almacenamientos de las aguas freáticas. Los niveles o presiones del agua decrecientes en los acuíferos en muchas regiones en todo el mundo crean tales oportunidades, ya sea como condiciones no saturadas en acuíferos no confinados o como una reducción de la

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



presión en acuíferos confinados. Sin embargo, la RGA no es un remedio para la escasez de agua en todas las áreas. Las condiciones de los acuíferos deben ser adecuadas y también se requieren recursos hídricos apropiados (por ejemplo, caudales excesivos de agua superficial en temporada húmeda o aguas residuales tratadas). El potencial de la RGA debe ser determinado en cualquier país o región particular antes de que comiencen las actividades.

Se requieren una planificación y una evaluación detalladas para determinar si la RGA es una opción de adaptación factible. Esto puede llevarse a cabo a escala nacional y de la cuenca hidrográfica teniendo en cuenta:

- ③ La disponibilidad del agua;
- ③ La adaptabilidad hidrogeológica; y
- ③ La viabilidad.

6.2 Ejemplo de RGA: diques de arena en Kenia

Los diques de arena se realizan mediante la construcción de un muro a través del cauce de un río, que desacelera las inundaciones repentinas/caudal efímero y permite que los depósitos más gruesos se sedimenten y se acumulen detrás del muro del dique. La sedimentación crea un acuífero artificial de poca profundidad que es recargado lateral y verticalmente por el caudal (Gale, 2005).

Desde 1995, se construyeron más de 400 diques de arena en el distrito Kitui de Kenia, respaldados por SASOL Foundation (Fig. 10.6; Foster y Tuinhof, 2004). Cada uno de estos diques proporciona al menos 2.000 metros cúbicos de almacenamiento y ha sido construido por las comunidades locales con material disponible a nivel local. Entre los beneficios identificados de este programa se incluyen: mayor disponibilidad de suministros de agua en la estación seca, mejor seguridad de los alimentos durante períodos de sequía y menor tiempo de traslado para obtener suministro de agua.

Los diques de arena no son apropiados para todas las ubicaciones. Requieren un lecho de roca no desgastado y relativamente impermeable a poca profundidad; la formación rocosa dominante en el área debe erosionarse hasta sedimentos gruesos y arenosos; se requiere un desbordamiento suficiente para que se arrastren con la corriente los sedimentos finos; y el riesgo de acumulación

de salinidad del suelo y el agua freática debe ser bajo. El esfuerzo cooperativo, la propiedad y el mantenimiento continuo por parte de la comunidad local también son necesarios para el éxito de estos esquemas (Foster y Tuinhof, 2004).

6.3 El enfoque integrado: gestionar los contenedores de agua: el enfoque 3R

Se espera que el cambio climático traiga más altibajos en la disponibilidad del agua, así como estaciones lluviosas cada vez más erráticas. Con esta incertidumbre mayor, la gestión de los contenedores de agua desempeña un rol central.

Para gestionar los contenedores de agua a escala, se ha desarrollado la iniciativa 3R. La visión de las 3R es ayudar a las personas, incluso aquellas que viven en tiempos frágiles y lugares dificultosos, a tener la confianza y la garantía de que su medio de vida no sufrirá excesivamente cuando se produzcan cambios en el clima, pero incluso puede mejorar al gestionar los contenedores de agua locales.

3R se refiere a los tres pasos subsiguientes en la gestión de los contenedores: recarga, retención y reutilización. El contenedor de agua es el almacenamiento que se proporciona especialmente en los metros superiores del suelo, en acuíferos de poca profundidad y en el almacenamiento superficial local. Gestionar los contenedores de agua generales es de vital importancia: determina cómo viven las personas y qué economías se sostienen. La idea general es que abordar una crisis del agua local no se trata de asignar el agua escasa, sino de captar el agua y extender la cadena del uso del agua y su reutilización lo máximo posible dentro de una cuenca, teniendo en cuenta todas las personas y el entorno a través de todas las cuencas.

Las 3R pueden aplicarse en áreas húmedas y áridas, urbanas y rurales. Las 3R deben formar parte integral de la planificación del uso local de la tierra y del desarrollo regional. Se encargan de aumentar la capacidad de las técnicas de almacenamiento del agua local (diques del subsuelo, diques de arena, almacenamiento superficial), la infiltración a gran escala, la creación de bancos de agua, la retención del agua freática en áreas muy húmedas, la gestión conjunta de grandes

áreas de riego, los desagües controlados, el ensamblado de la planificación de ruta para la recarga y retención de agua, etc. Muchas de estas técnicas tendrán un argumento comercial propio.

Referencias y lecturas 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. Agosto de 2005.
http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/dl/f_publicationen/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. Disponible en línea: <http://www.iah.org/recharge/>

Documentos de información introductoria: Hydrological Sciences Journal, volumen 54, número 4, agosto de 2009, publicación especial: Groundwater and Climate in Africa. Disponible en línea en: <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:

- ③ Entender cómo la gestión de la información respalda a la gestión efectiva de las aguas freáticas.
- ③ Comprender el proceso de gestión de la información y conocer algunas de las herramientas utilizadas en la gestión de la información.
- ③ Identificar las producciones importantes de la gestión de la información para las aguas freáticas y su difusión.
- ③ Comprender la importancia de la comunicación entre los grupos de interés en la gestión efectiva de las aguas freáticas.
- ③ Familiarizarse con los conceptos y las herramientas típicas para la comunicación de la gestión de las aguas freáticas.

1. Introducción

Gestión de la información.

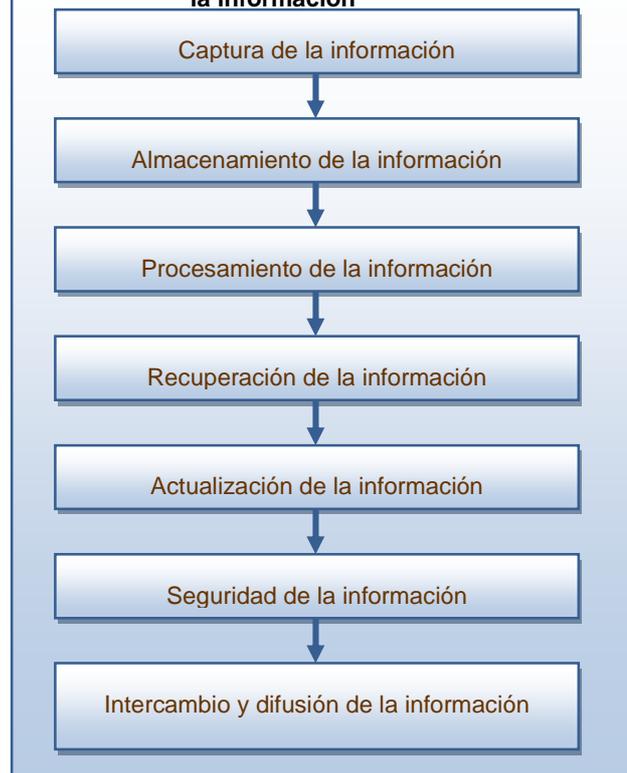
La toma de decisiones sensata sobre cómo asignar las aguas freáticas ahora y en el futuro requiere información exhaustiva, precisa y puntual. Por lo tanto, es necesario identificar los asuntos clave para la gestión de las aguas freáticas dentro de una unidad de gestión pragmática definida tal como una cuenca hidrográfica y priorizar la información (esencial y no esencial) requerida para tratar estos asuntos. Decidir qué informar, a quién y cómo comunicar el informe es el paso final más importante. Por consiguiente, para la implementación efectiva de la gestión de las aguas freáticas, es necesario llevar a cabo una función de gestión de la información, preferentemente por una Unidad de gestión de información (UGI), como parte de sus actividades normales dentro de una institución de gestión relevante como una Organización de cuenca hidrográfica (OCH). Para este módulo, se supone que la gestión de las aguas freáticas es abordada por una OCH (o al menos ubicada dentro de una institución de gestión de recursos hídricos mayor), y que el proceso de gestión de la información se realiza

en toda la cuenca hidrográfica y en el agua superficial y subterránea. Esta sección del módulo se basa principalmente en el Módulo 8 sobre Gestión de la información en el manual de capacitación de GIRH para la organización de cuenca hidrográfica, (Cap-Net, 2008).

Comunicación.

La comunicación está muy vinculada a la información y a la gestión de la información. La gestión de la información se encarga del proceso más técnico de recopilar, almacenar y difundir información basada en asuntos de gestión identificados y en las necesidades de información de los diferentes grupos de interés. La comunicación se centra más en la dimensión humana de la gestión de la información. Una comunicación efectiva garantiza que todos los grupos de interés participen en la definición de los asuntos de gestión de los recursos hídricos y en la decisión de sus necesidades de información (a menudo diferentes) durante la gestión. En este sentido, la comunicación es la base de la gestión exitosa de la información. En este módulo se presentan cuatro aspectos de la comunicación: se analizan (i) algunos

Figura 11.1 Pasos del proceso de gestión de la información



principios de comunicación, (ii) el contexto más amplio y la importancia de la comunicación en la gestión de las aguas freáticas, (iii) las herramientas de comunicación, y (iv) se dedican algunas palabras a nuestro rol y oportunidades personales en la comunicación.

2. Proceso de gestión de la información

Los pasos genéricos del proceso de gestión de la información que se pueden utilizar para gestionar y derivar cualquier información deseada para tomar decisiones e informar a los grupos de interés en la OCF se muestran en la Fig. 11.1. Para el propósito de la gestión de las aguas freáticas, se explican a continuación sólo la captura, el procesamiento, la actualización, el intercambio y la difusión de la información. El resto de los procesos son dictados por el proceso general de gestión de la información para la cuenca.

Captura de la información

El primer paso es decidir “qué” y “cómo” capturar la información deseada. El “qué” se definirá según las necesidades de información prioritarias de los usuarios, de acuerdo con los objetivos de la gestión de las aguas freáticas en una cuenca hidrográfica. Entonces, se creará una lista de la información necesaria.

Para el asunto de la gestión de calidad de las aguas freáticas, se requiere información sobre los parámetros de calidad anteriores y actuales, el caudal de agua freática y los usuarios/ usos del agua. Es probable que parte de la información necesaria sea información procesada. Por ejemplo, la dirección del caudal está determinada por las medidas del nivel del agua freática. Esto significará que es necesario recopilar los datos resultantes sin procesar sobre los niveles freáticos de los pozos de observación o extracción.

Una vez que se definen las necesidades de información sin procesar, se deben definir los métodos a utilizar para capturar los datos. Los métodos pueden ser simples o complejos, en función de los niveles deseados de precisión y actualidad de la información, y las limitaciones técnicas y de los recursos. El capítulo sobre control ofrece detalles sobre los diferentes métodos disponibles para capturar datos sin

procesar, las asociaciones limitadas y las compensaciones que deben realizarse en vista de las restricciones de los recursos (humanas y materiales).

Procesamiento de la información

La información deseada normalmente se procesa a partir de los datos sin procesar o de otra información de nivel inferior. Así, se debe decidir el nivel de procesamiento y el control de calidad requerido para producir la información deseada, y también para definir los métodos de procesamiento a utilizar. El capítulo sobre control analiza las técnicas para controlar los niveles y la calidad de las aguas freáticas.

Intercambio y difusión de la información

Se debe decidir qué información se intercambiará, cómo se difundirá la información y de qué manera se sustentará la toma de decisiones y mantendrá informados a los grupos de interés. La elección de los métodos dependerá de los recursos disponibles y del público al que se destina la información. La OCH debe decidir los métodos de transmisión de dicha información a los usuarios y también cómo responder a las preguntas sobre la información publicada. La Tabla 11.1 ofrece ejemplos de diferentes audiencias y sus requisitos de información correspondientes, así como sus métodos y canales de difusión apropiados.

Todos los grupos de interés deben tener acceso a un informe anual del estado de los recursos hídricos de la cuenca. Además, pueden necesitar tener acceso a un sistema para presentar quejas y hacer preguntas sobre la gestión de los recursos hídricos y la asignación de los mismos en la cuenca hidrográfica. Esto puede adoptar la forma de formularios de quejas o preguntas, en copia impresa o formato electrónico en Internet. La UGI no puede encargarse de mantener todas las bases de datos para elaborar las producciones anteriormente mencionadas. Sin embargo, la UGI debe coordinar con las agencias pertinentes el mantenimiento de las bases de datos para asegurar que se elaboren las producciones solicitadas y se entreguen a

los administradores de los recursos hídricos para la toma de decisiones.

Plan de gestión de la información

La realidad de las restricciones financieras y en materia de recursos humanos limitará la capacidad de una OCH para recopilar, analizar, interpretar, usar e intercambiar la información. Así, la OCH tiene que priorizar la recopilación y el procesamiento de la información para proporcionar la producción de información necesaria para tratar las cuestiones urgentes de la GIRH en una cuenca hidrográfica. Junto con el agua superficial, los requisitos de la información de gestión de las aguas freáticas deben priorizarse e incorporarse en un Plan de gestión de información general de la cuenca que cumpla con las necesidades inmediatas de la GIRH de la cuenca y que pueda implementarse dentro de las limitaciones en materia de recursos de la OCH. El ejercicio sistemático mencionado también puede ayudar a la OCH a definir las necesidades de creación de capacidad de gestión de la información y también las posibles áreas en las que se puedan realizar las inversiones en mejoras técnicas y en el área de sistemas.

3. Herramientas de gestión de la información

La gestión de la información se define comúnmente como “la recopilación y la gestión de la información 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 útil conocer cuáles son los tipos genéricos de información y sus características. Además, será útil para la UGI conocer los posibles tipos de herramientas de gestión de la información disponibles para ellos. Luego, la UGI debe trabajar con los especialistas de las Tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en el desarrollo y la personalización de dichas herramientas para respaldar sus operaciones.

Tipos de información y sus características

Existe una amplia variedad de diferentes tipos de información que pueden seleccionarse para diferentes propósitos de información (consultar la Tabla 11.2 a continuación).

Ejemplos de algunas herramientas de gestión de la información

Los rápidos adelantos en las TIC han permitido que se desarrollen nuevas herramientas de gestión de la información y de esta manera ayudan a una OCH en las tareas de gestión de la información. Estas herramientas permiten una mejor generación, procesamiento y difusión de la información que en el pasado.

- *bases de datos y sistemas especializados de procesamiento de datos* pueden desarrollarse a fin de procesar datos en bruto para el almacenamiento en las bases de datos. Normalmente, los sistemas se desarrollan según las necesidades específicas de información de los usuarios y siguen un conjunto muy claro de procedimientos de procesamiento de la información.
- el *sistema de información geográfica (SIG)* utiliza las capacidades 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 actualizará el mapa asociado. Así, al actualizar de manera continua los datos obtenidos del control, los mapas actualizados se encuentran disponibles para que los vean los grupos de interés. Las bases de datos SIG pueden incluir una amplia variedad de información tales como población y lugares de perforación, puntos críticos de contaminación, etcétera.
- el *programa “Google Earth”* combina la capacidad del motor de búsqueda de Google con imágenes satelitales, mapas, relieve y construcciones en 3D para poner a disposición una vista aérea de la información geográfica del mundo para 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 las 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 de tipo informe. Hay varios tipos de SGC disponibles, muchos de los cuales son gratuitos. La información de tipo informe es el tipo más común que usan los grupos de interés para la toma de decisiones. Por lo tanto, el uso de un SGC para almacenar y publicar información de tipo informe electrónicamente, ya sea en Internet o en CD/DVD, le permitirá a una OCH difundir e intercambiar información de modo efectivo. 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 las TIC

Se han comunicado numerosas fallas y malas experiencias de los administradores de los recursos hídricos en la aplicación y el uso de las herramientas de las TIC y los sistemas de las TIC para respaldar sus operaciones. Las siguientes pautas asistirán a la UGI en el desarrollo de sistemas de las TIC:

- ③ *Desarrollar el plan de gestión de la información*
La UGI primero debe desarrollar su plan de gestión de la información para la cuenca hidrográfica, como se describe en la Sección 2. Al trabajar a través de la serie de pasos en el proceso de gestión de la información para llegar al plan, la UGI obtendrá una comprensión y valoración profundas de las necesidades de gestión de la información de los administradores de los recursos hídricos y los grupos de interés en una cuenca hidrográfica. La UGI entonces podrá proporcionar orientación a los especialistas de las TIC en lo necesario para respaldar sus operaciones. Además, el plan ayudará a los especialistas de las TIC a aconsejar a la UGI sobre las áreas posibles en las que se puedan aplicar las herramientas de las TIC para incrementar la efectividad de la UGI.

- ③ *Emplear a un administrador de proyectos multidisciplinario*

Una causa frecuente de la falla de la aplicación de las herramientas de las TIC se debe a la falta de liderazgo técnico en el proyecto de las TIC. El administrador de proyectos de un proyecto de las TIC debe tener una formación multidisciplinaria, con conocimientos/experiencia tanto en la gestión de los recursos hídricos como en las TIC. Esto garantizará que el administrador de proyectos pueda comprender las necesidades de gestión de la información de los administradores de las aguas freáticas, incorporarlas al Plan de gestión de información y comunicárselas a los especialistas de las TIC.

- ③ *El objetivo de los sistemas de las TIC debe coincidir con la capacidad existente de la UGI*

Otra causa frecuente de fracaso de los proyectos de las TIC es la falta de capacidad en la UGI para operar los sistemas desarrollados de las TIC. De esta manera, es muy importante que los sistemas de las TIC sean lo suficientemente “simples” como para ser operados por la UGI. Si se introducen nuevos sistemas de las TIC para las aguas freáticas, se debe garantizar que el personal de la UGI esté capacitado para operarlos.

- ③ *Adoptar el desarrollo organizado de los sistemas de las TIC*

La UGI debe resistir el desarrollo de sistemas complejos e integrados y adoptar un enfoque organizado en el desarrollo de los sistemas de las TIC. El administrador de las aguas freáticas debe garantizar que el personal de una UGI haya dominado las operaciones relevantes para su necesidad de gestión de la información antes de integrarla con otra información, por ejemplo, del agua superficial.

4. Gestión de la información y control, modelos y sistemas de soporte de decisiones (SSD)

La gestión de la información está muy relacionada con el control. El control de la

calidad y cantidad de las aguas freáticas está diseñado sobre los fundamentos de las necesidades de información y los datos recopilados en el control de los programas deben volver a traducirse en información para la gestión.

El uso de la simulación de computadoras para modelar la calidad de agua, el caudal intrínseco, etc., es bastante común. Las herramientas de las TIC se han desarrollado para sustentar el vínculo y la integración de los modelos de simulación con el proceso de toma de decisiones, con el fin de proporcionarles a quienes toman las decisiones las herramientas de modelaje de simulación para analizar situaciones hipotéticas, mientras se toman las decisiones.

En función de los comentarios resaltados en la Sección 3, es aconsejable que los especialistas de las aguas freáticas adopten un enfoque cauto en el desarrollo y la promoción del uso del SSD.

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 de hablar y oír, pero debemos aprender a expresarnos, escuchar bien y comunicarnos efectivamente. Hablar, escuchar y nuestra habilidad de comprender la comunicación verbal y no verbal son capacidades que desarrollamos de diferentes maneras. Aprendemos destrezas básicas de comunicación al observar a otras personas y modelar nuestros comportamientos de acuerdo con lo que vemos. También aprendemos algunas destrezas de comunicación directamente por la educación, la práctica y la evaluación de esas destrezas.

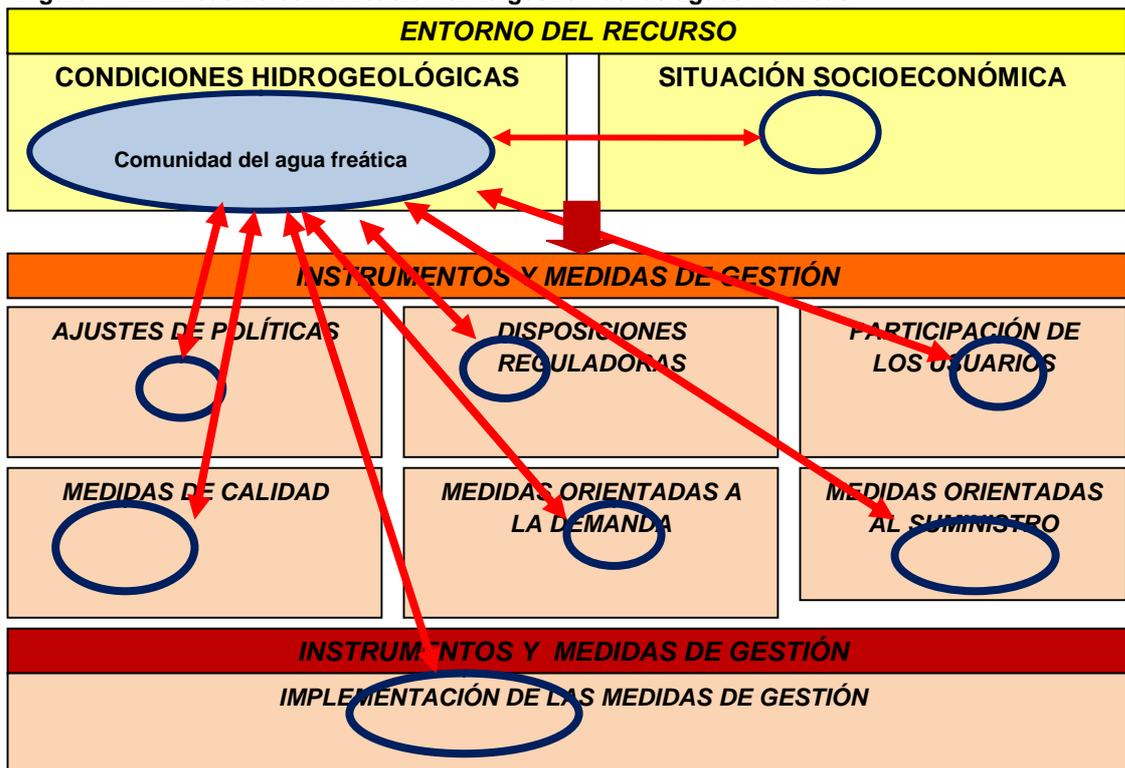
La comunicación va más allá de la gestión de la información y se encarga de todas las interacciones necesarias entre los grupos de interés en la gestión de las aguas freáticas en las diferentes etapas del desarrollo del recurso.

Comunicación de las aguas freáticas

El rol específico de comunicación de los expertos en aguas freáticas es interactuar de manera efectiva con la amplia variedad de grupos de interés que desempeñan un papel en el desarrollo y la gestión de las aguas freáticas (Figura 11.2).

El desafío es comunicar los conceptos clave de las aguas freáticas, teniendo en cuenta los

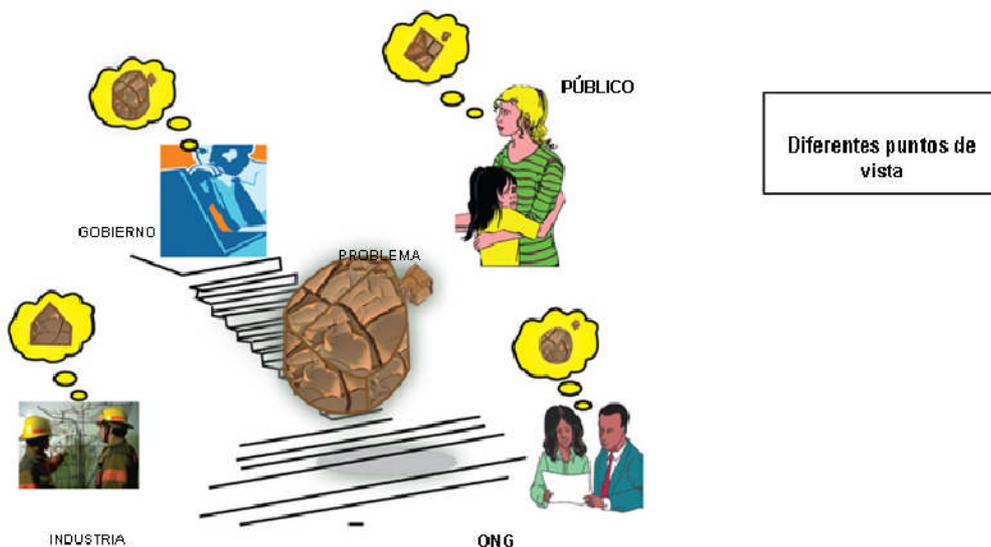
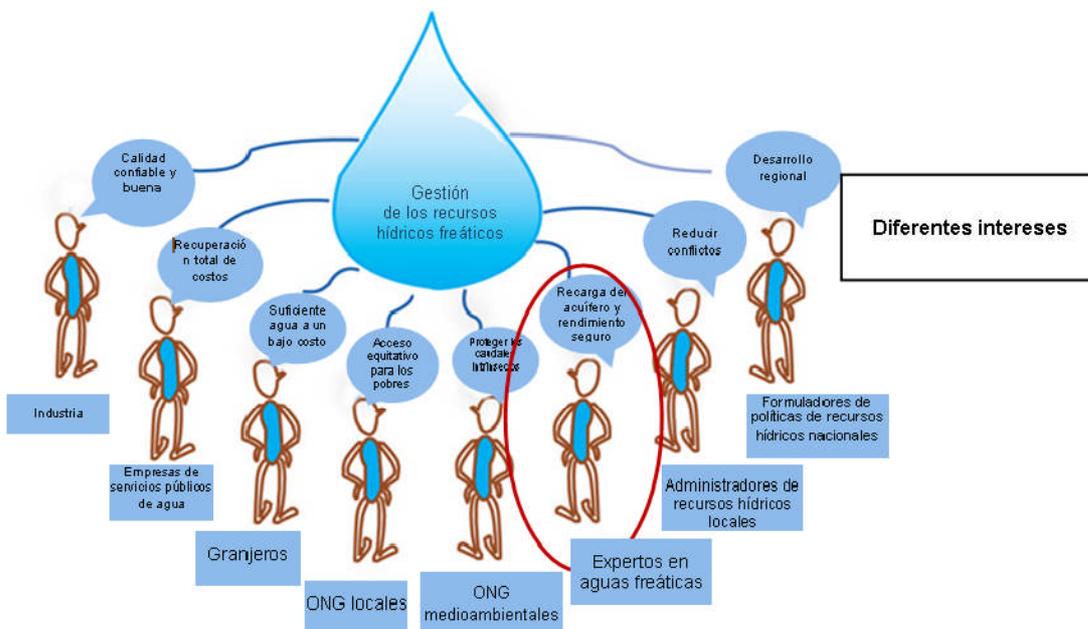
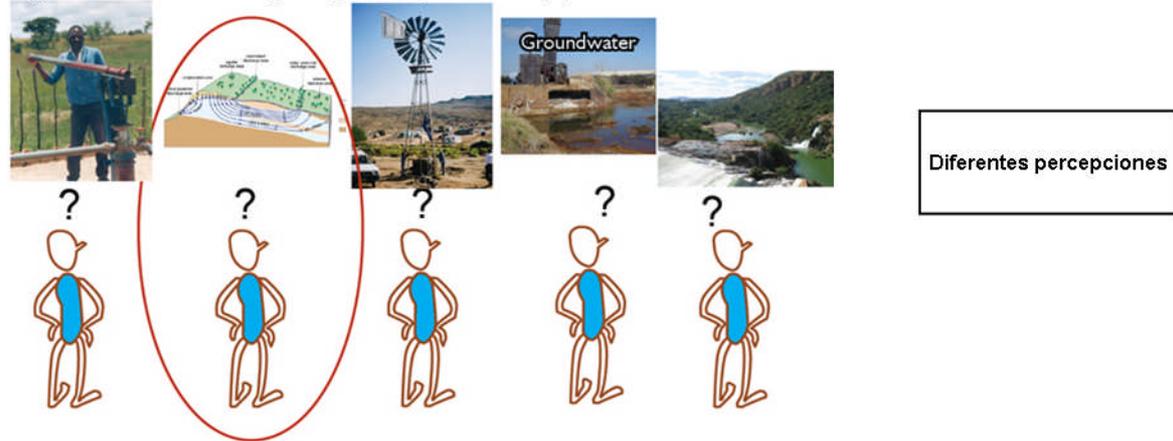
Figura 11.2. Líneas de comunicación en la gestión de las aguas freáticas



malentendidos frecuentes que existen con los grupos de interés que no tienen conocimientos en materia de aguas freáticas e hidrogeología. Los "mitos" típicos sobre las aguas freáticas se describen en la Nota informativa de GWMATE número 2 e incluyen los

malentendidos tales como "las aguas freáticas son infinitas comparadas con su extracción" y "el bombeo de las aguas freáticas no tiene efecto río abajo". La comunidad del agua freática debe comunicar un recurso invisible ("si la vista pública no lo ve, la mente política

Figura 11.3. Diferentes percepciones, intereses y puntos de vista



no lo siente”) a nivel de políticas y otros grupos de interés.

6. ¿Cuáles son los conceptos clave en la “comunicación de las aguas freáticas”?

El receptor no es un experto en aguas freáticas

Al comunicar el mensaje sobre las aguas freáticas debemos tener en cuenta que existen conflictos entre los usuarios. Si no se introducen efectivamente (o sólo parcialmente) la gestión y la regulación, la presión en el recurso permanecerá. Ya que el recurso es invisible y los procesos físicos no son comprendidos, los administradores y los usuarios del agua desarrollan una percepción negativa en la que el agua freática está vinculada con problemas y restricciones. Los expertos en aguas freáticas por lo general son convocados para evaluar el recurso cuando la gestión se vuelve inevitable y para evaluar la viabilidad técnica e hidrológica de las opciones de gestión (Figura 11.4).

Esto puede tratarse a través de la comunicación al presentar los conceptos clave de la recarga, el caudal y la descarga de aguas freáticas de una manera simple usando gráficos y/o simulaciones de modelos que puedan comprender las personas que no sean profesionales de las aguas freáticas.

También es importante comunicar los

diferentes perspectivas, diferentes intereses y diferentes puntos de vista entre los grupos de interés (Figura 11.3), y esto debe considerarse al diseñar el material y la estrategia de comunicación.

La imagen de las aguas freáticas

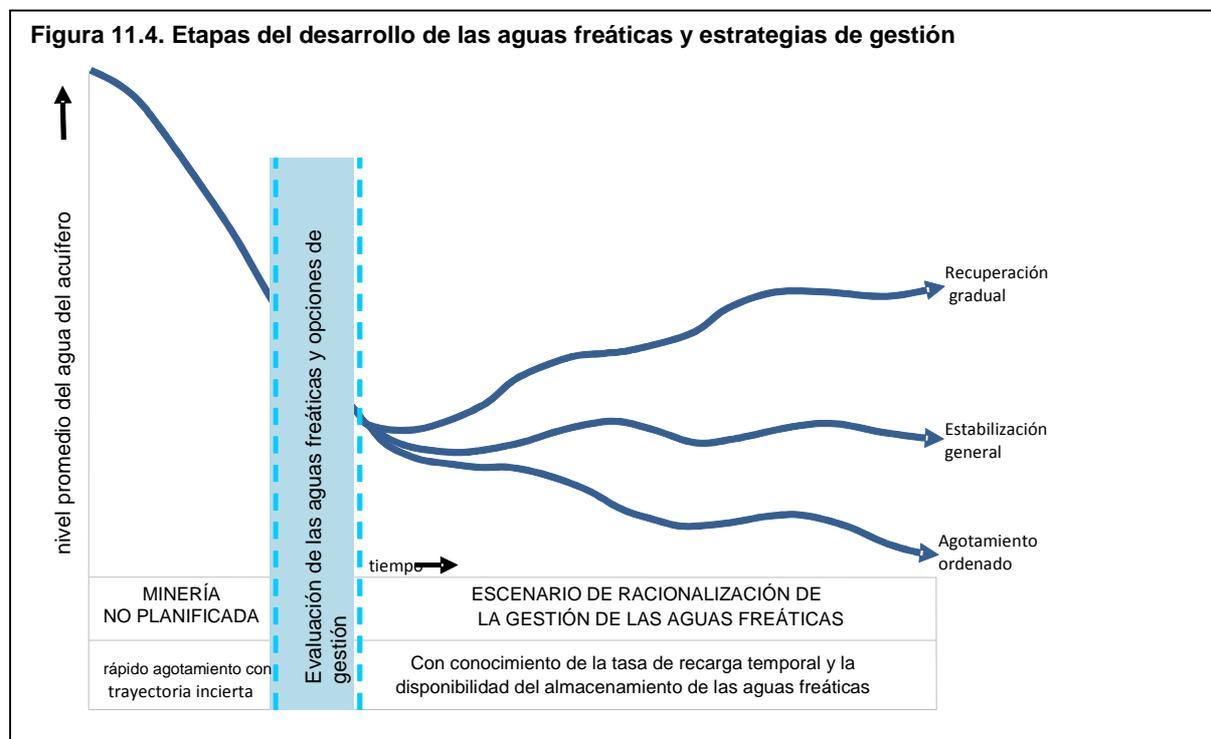
Otra característica de las aguas freáticas para tener en cuenta en la comunicación es a menudo la imagen negativa de éstas. En las primeras etapas del desarrollo, el recurso parece ser infinito y hay poco o ningún incentivo para la gestión. Las necesidades de gestión por lo general se originan cuando aumenta la presión en el recurso y surgen

argumentos para la venta de las aguas freáticas, tales como:

- ③ Disponible cuando sea necesario: acceso universal
- ③ Naturalmente protegido: calidad segura y estable
- ③ Capacidad de almacenamiento: la reserva más grande
- ③ Agua freática salobre: el recurso sin explotar
- ③ Agua freática profunda: extensión vertical del recurso
- ③ Caudales medioambientales: caudal intrínseco de ríos y pantanos
- ③ Temperatura estable: fuente de energía sostenible
- ③ Tratamiento natural: disminución de la contaminación

Resaltar los argumentos para la venta de las aguas freáticas de hecho es una manera de comercializar y hacer uso de las herramientas y métodos de comercialización adecuados y

Figura 11.4. Etapas del desarrollo de las aguas freáticas y estrategias de gestión



puede ser útil para elevar el perfil de las aguas freáticas.

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 encuentran ampliamente disponibles información y ejemplos. En esta sección sólo se proporcionan algunos 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 dar una conferencia.

Los diferentes métodos de comunicación reflejan estos entornos:

- ③ persona a persona: cara a cara, leer una carta, hacer una llamada telefónica
- ③ en un grupo pequeño: planificación, solución de problemas, toma de decisiones, informes escritos, memorandos, tableros de anuncios
- ③ en una reunión: presentación, negociación, negociación de acuerdos
- ③ utilizar medios de comunicación: hablar en público, por la radio o televisión, escribir para los medios impresos como periódicos y diarios, libros, publicidad
- ③ 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. Está más allá del propósito de este módulo analizar el material de comunicación y las estrategias de comunicación en detalle. Ya que los expertos en aguas freáticas generalmente no tienen capacitación en comunicación, se recomienda consultar a un especialista de información para el diseño de 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:

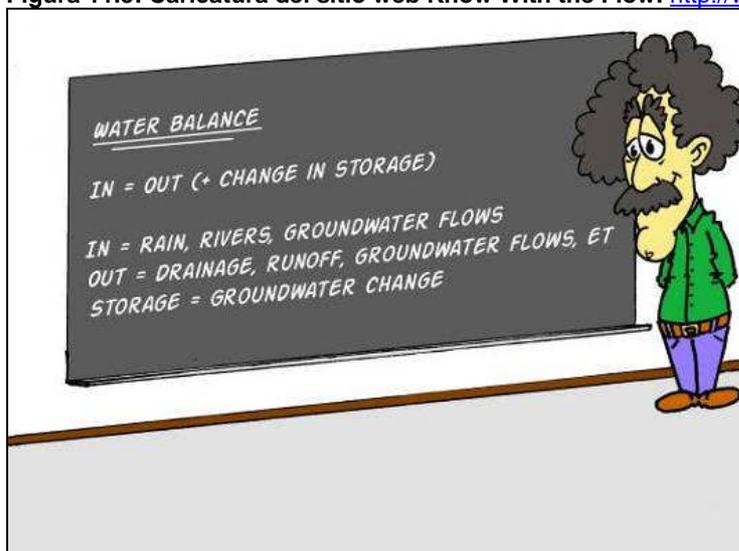
- ③ Una imagen/un diagrama simple dice más que mil palabras.
- ③ Las caricaturas son una manera efectiva de abordar los conceptos clave y los malentendidos.
- ③ Animaciones y videos: tales como The Water Channel que contiene una gran cantidad de videos sobre la gestión de los recursos hídricos, entre ellos más de 20 sobre las aguas freáticas en <http://www.thewaterchannel.tv/>

A continuación, se brindan algunos ejemplos de material de comunicación útil:

Destrezas de comunicación

Las destrezas de comunicación son el paso final del proceso y se ocupan de cómo actuamos y nos comportamos en nuestra

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

comunicación. Las destrezas de comunicación 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 las cosas obvias como ayudas visuales y de contenido, los siguientes aspectos son igualmente importantes, ya que el público los asumirá inconscientemente:

- ③ Su voz: la manera de decir las cosas es tan importante como lo que se dice.
- ③ 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.
- ③ Apariencia: las primeras impresiones tienen una influencia en las actitudes del público hacia usted. Vístase adecuadamente para la ocasión.

Al igual que sucede con la mayoría de las destrezas personales, la comunicación oral no puede enseñarse. Los instructores sólo pueden señalarle el camino. Como siempre, la práctica es esencial, tanto para mejorar sus destrezas generalmente como para aprovechar al máximo cada presentación individual que realice.

8. Lecciones

A partir de la experiencia de los sistemas de gestión de información y de la información presentada anteriormente, las lecciones para tener en cuenta son:

- ③ Una buena gestión de la información es esencial para la gestión efectiva de las aguas freáticas y de los recursos hídricos en general de una cuenca

hidrográfica;

- ③ Los sistemas de gestión de la información deben ser realistas y funcionar con los recursos disponibles;
- ③ Se deben adoptar las herramientas de gestión de la información y los sistemas de las TIC en un proceso organizado que combine las capacidades y la confiabilidad de la base de datos de la información; y
- ③ Las producciones de información que satisfacen las necesidades de los administradores de los recursos hídricos y los grupos de interés demuestran la eficacia del sistema de gestión de la información.

Referencias y lecturas web

Cap-Net, 2008. Módulo 8, Gestión de la información en el manual de capacitación 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/>

Figura 11.7. Destrezas de comunicación



EJERCICIO

Gestión de la información

Objetivo: una OCH ha establecido recientemente un plan de gestión de las aguas freáticas y le otorgado a la Unidad de gestión de información (UGI) un presupuesto limitado para incorporar la gestión de las aguas freáticas al plan de gestión de información. El presupuesto será adecuado para que la UGI satisfaga algunas de las necesidades de información de los usuarios del agua.

Los actores y sus roles

Habrán 5 grupos de actores. Ellos son:

- (a) Equipo de la UGI
- (b) Equipo de gestión de las aguas freáticas dentro de la OCH
- (c) Una organización basada en la comunidad que representa a las comunidades rurales que utilizan las perforaciones para agua potable
- (d) Una ONG medioambiental
- (e) Una compañía minera

Los participantes se dividirán en los 5 grupos antes mencionados. Deben pasar 30 minutos en sus respectivas sesiones de grupos individuales antes de llegar a una sesión plenaria en conjunto de 30 minutos. En la sesión plenaria, el grupo de la UGI debe llevar a cabo el foro y los otros grupos deben hacer sus respectivos pedidos de producciones de información que necesitan del grupo de la UGI.

Los roles de los 5 grupos son los siguientes:

- (a) UGI: debe identificar y priorizar todas las producciones de gestión de información que puedan necesitar el administrador de recursos hídricos y los grupos de interés de usuarios del agua. Posteriormente, se le solicitará en la sesión plenaria que explique por qué no puede satisfacer todas las necesidades de gestión de la información de los grupos de interés de la cuenca hidrográfica debido al presupuesto limitado. Tenga en cuenta que parte de la información solicitada ya fue producida por la gestión de los recursos hídricos superficiales,
- (b) Equipo de gestión de las aguas freáticas: debe identificar todas las producciones de la gestión de información que debe proporcionarles la UGI para poder desarrollar su responsabilidad de gestión de los recursos hídricos en la cuenca.
- (c) Organización basada en la comunidad: debe identificar todas las producciones de la gestión de información que desea de la UGI para tomar decisiones sobre el uso del agua potable.
- (d) ONG medioambiental: debe identificar todas las producciones de la gestión de información que desea de la UGI para poder cumplir su objetivo de proteger el ecosistema de pantanos en la cuenca.
- (e) Compañía minera: debe identificar todas las producciones de la gestión de información que desea de la UGI para poder operar de la manera más rentable

Moderador

Destaque cómo la UGI toma las decisiones sobre la gestión de información esencial y no esencial, las estrategias que el equipo de gestión de las aguas freáticas y los diferentes grupos de interés adoptarán en ausencia de su lista favorita de información y finalmente si los grupos de interés perciben que la propuesta de la UGI es mejor que cuando comenzó la reunión.

