

# Gestión Sustentable del Agua Subterránea

## Conceptos y Herramientas

Serie de Notas Informativas Nota 1

## Gestión de Recursos de Agua Subterránea una introducción a su alcance y práctica

2002-2005

**Autores** (Grupo Base del GW•MATE)

Albert Tuinhof<sup>1</sup> Charles Dumars<sup>2</sup> Stephen Foster<sup>2</sup> Karin Kemper Héctor Garduño Marcella Nanni  
(<sup>1</sup>autor líder <sup>2</sup>autor de apoyo principal)

### ¿Por qué es diferente el agua subterránea del agua superficial?

- El agua subterránea difiere del agua superficial por su entorno químico y físico contrastante, aunque el agua en sí sea esencialmente parte del mismo ciclo general (Tabla 1).
- El agua superficial fluye de manera relativamente rápida en pequeños arroyos, que alimentan al río principal drenando al área de captación en cuestión. El área de captación de cada cuenca está determinada por la topografía de la superficie terrestre y por lo general no cambia con el tiempo.
- El agua subterránea se mueve a través de los acuíferos (estratos permeables) desde zonas de recarga a zonas de descarga (determinadas por la estructura geológica), normalmente a tasas lentas que van desde 1-m/año a cientos de m/día. Pueden pasar décadas, cientos o incluso miles de años entre la recarga inicial y su descarga final hacia un manantial, un arroyo o el mar. Dichas tasas de flujo lentas y tiempos de residencia largos, resultado de grandes volúmenes de almacenamiento, son algunos de los aspectos característicos de los sistemas de agua subterránea (Tabla 2).

**Tabla 1: Agua subterránea y agua superficial—como recurso integrado**

El agua de lluvia que cae a la tierra comienza un viaje largo en el que su ambiente y condición física (líquido, vapor, sólido) pueden cambiar varias veces. Es útil considerar la trayectoria de dos gotas individuales.

**La gota de lluvia A** se infiltra en el suelo, llega al manto freático y se convierte en *agua subterránea*. Tras 10 años bajo tierra, se bombea de un pozo y se usa como suministro potable. Después se descarga como efluente de aguas residuales a un río, con lo que se convierte en *agua superficial* colgada sobre el manto freático, que se infiltra por su lecho para recargar al acuífero subyacente. La gota de lluvia se une al flujo de *agua subterránea* en un acuífero de piedra caliza fisurada y se descarga directamente al mar unos 2 años después.

**La gota de lluvia B** cae directamente en un lago en la parte alta de la cuenca y se convierte en *agua superficial*. Después de 5 días se evapora y vuelve a la atmósfera local y cae de nuevo como lluvia, pero esta vez sobre terreno permeable donde se infiltra para convertirse en *agua subterránea*. Fluye bajo tierra en un acuífero de arena no consolidada durante más de 100 años, pero se descarga finalmente como manantial en las tierras bajas de la cuenca. Así, se convierte de nuevo en *agua superficial*, parte de un sistema de arroyos y ríos que unos 2 días después llega al mar.

Siglos después, ambas gotas se evaporarán del mar para comenzar el ciclo de nuevo.

**Tabla 2: Aspectos comparados de los recursos de agua subterránea y de agua superficial**

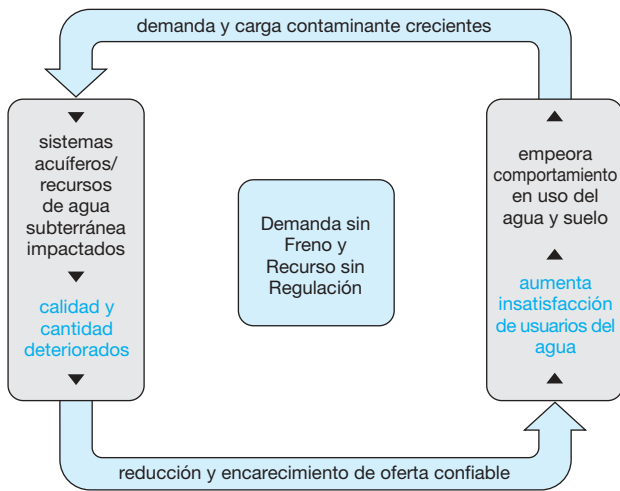
ASPECTO	RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA Y ACUÍFEROS	RECURSOS DE AGUA SUPERFICIAL Y EMBALSES
<i>Características Hidrológicas</i>		
• Volúmenes de Almacenamiento	muy grandes	pequeños a moderados
• Zonas de Recursos	relativamente no restringidas	restringidas a cuerpos de agua
• Velocidades de Flujo	muy bajas	moderadas a altas
• Tiempos de Residencia	generalmente de décadas a siglos	en su mayoría de semanas a meses
• Propensión a Sequía	generalmente baja	generalmente alta
• Pérdidas por Evaporación	bajas y localizadas	altas en los embalses
• Evaluación de Recursos	costo alto e incertidumbre considerable	costo bajo y a menudo menor incertidumbre
• Impactos por Extracción	retardados y dispersos	inmediatos
• Calidad Natural	generalmente (pero no siempre) alta	variable
• Vulnerabilidad a la Contaminación	protección natural variable	sin protección, en gran medida
• Persistencia de la Contaminación	a menudo extrema	principalmente transitoria
<i>Factores Socioeconómicos</i>		
• Percepción del Público	recurso mítico, impredecible	recurso estético, predecible
• Costo del Desarrollo	generalmente modesto	a menudo alto
• Riesgo por Desarrollo	menos del que se percibe a menudo	más del que se supone a menudo
• Estilo del Desarrollo	combinación de público y privado	público, en gran medida

- Las fronteras del flujo del agua subterránea (en espacio y profundidad) por lo general resultan más difíciles de definir y pueden variar con el tiempo. La diferencia se ve acentuada puesto que el agua subterránea conforma la ‘parte invisible’ del ciclo hidrológico, lo cual puede generar conceptos erróneos entre los grupos interesados (‘stakeholders’). A menudo, los tomadores de decisiones sobre recursos hídricos (igual que muchos usuarios de agua) tienen pocos antecedentes de hidrogeología y, por ende, una comprensión limitada de los procesos que se inducen al bombear agua subterránea de un acuífero. Por lo tanto, siguen siendo comunes la subutilización irracional de los recursos de agua subterránea (comparado con el agua superficial) y la excesiva complacencia en cuanto a la sustentabilidad del uso intensivo del agua subterránea.

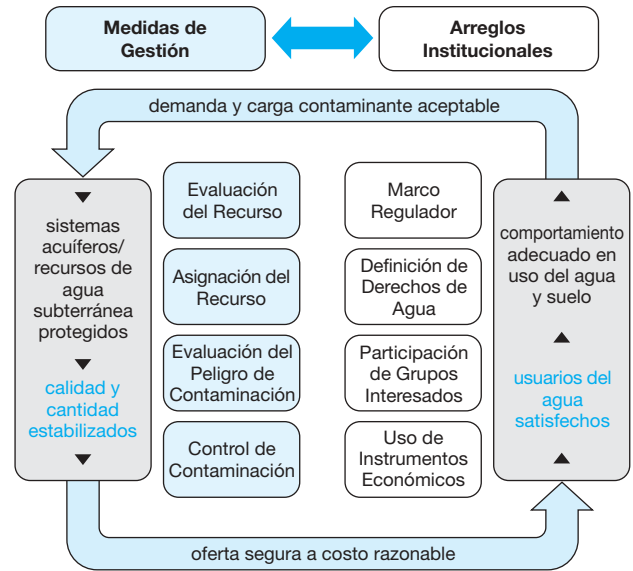
### ¿Cuál es el reto clave que enfrenta la gestión de los recursos de agua subterránea?

- La gestión de los recursos de agua subterránea tiene que equilibrar la explotación de un recurso complejo (en términos de cantidad, calidad e interacciones con el agua superficial) con las crecientes exigencias de los usuarios del agua y la tierra (quienes pueden representar una amenaza a la disponibilidad y la calidad del recurso hídrico). Esta nota aborda principalmente los asuntos cuantitativos, esencialmente relacionados con el recurso, de la gestión de agua subterránea, y sólo toca de manera superficial el tema de la protección del agua subterránea contra la contaminación (que se aborda en la **Nota Informativa 8**).
- Las necesidades de gestión de agua subterránea generalmente no aparecen hasta que un descenso en el rendimiento de los pozos y/o en la calidad del agua afecta a algún grupo interesado. Si se permite que haya más bombeo sin control, se puede desarrollar un ‘círculo vicioso’ (Figura 1), lo que puede traer como resultado el daño de los recursos en general (con un grave descenso del nivel de agua subterránea y, en algunos casos, invasión salina de los acuíferos o, incluso, asentamiento del terreno).

**Figura 1: El desarrollo que sólo responde al incremento de la oferta conduce a un círculo vicioso**



**Figura 2: La gestión integrada del agua subterránea conduce a un círculo virtuoso**



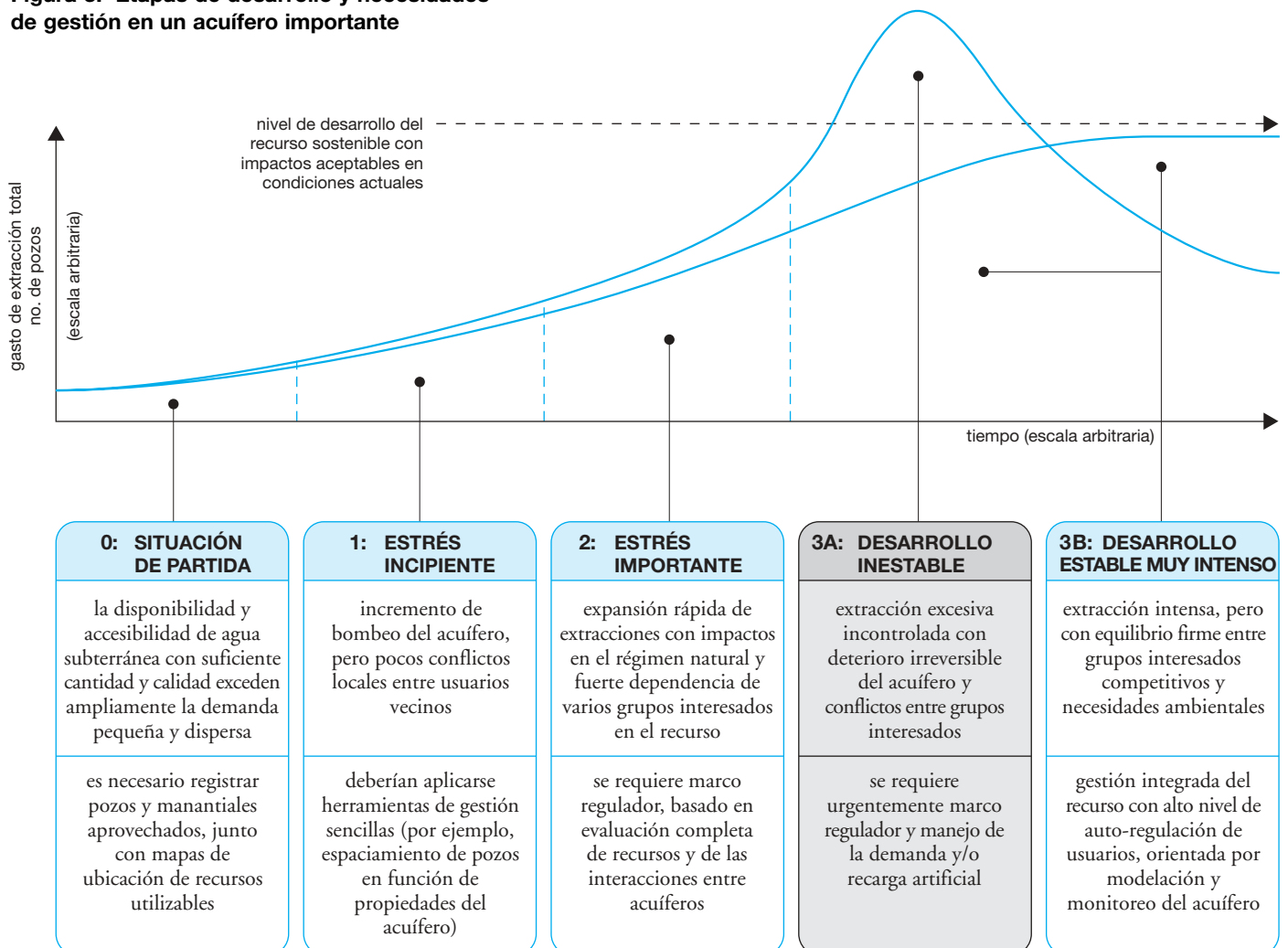
- Para transformar este ‘círculo vicioso’ en un ‘círculo virtuoso’ (Figura 2), resulta esencial reconocer que gestionar el agua subterránea implica trabajar con la gente (usuarios de agua y de tierra) tanto como gestionar el agua (recursos de acuíferos) o, en otras palabras, que las dimensiones socioeconómicas (gestión de la demanda) son tan importantes como la dimensión hidrogeológica (gestión de la oferta), y que siempre se requiere integrar ambas.
  - Es indispensable comprender los siguientes asuntos para la *gestión de la oferta de los recursos de agua subterránea*:
    - los sistemas de acuíferos y sus susceptibilidades específicas a los impactos negativos ocasionados por estrés de extracción
    - las interacciones entre agua subterránea y agua superficial, como son los efectos de extracción (en el flujo base fluvial y algunos humedales) y los efectos de reducción de recarga (producidos por la modificación del flujo de agua superficial).
- Todos estos efectos pueden ser a corto plazo y reversibles, o a largo plazo y casi irreversibles. El monitoreo operativo (Nota Informativa 9) es una herramienta vital para desarrollar la comprensión necesaria que lleve a una gestión efectiva del recurso.
- Resulta esencial para la *gestión de la demanda de recursos de agua subterránea* tener presente que:
    - las metas de desarrollo social ejercen gran influencia sobre el uso del agua, especialmente en lo que concierne a la irrigación agrícola y la producción alimentaria, por lo que la gestión sólo resulta totalmente efectiva si hay coordinación entre sectores
    - las intervenciones reguladoras (como derechos de agua o permisos para su uso, que se abordan en la Nota Informativa 5) y las herramientas económicas (que se tratan en la Nota Informativa 7) como tarifas de extracción y derechos de agua comerciables se vuelven más eficaces si no sólo se codifican en las leyes de aguas, sino que también se aplican con alta participación de los usuarios
    - las provisiones reguladoras no deben rebasar la capacidad gubernamental de hacer valer la ley y la capacidad de los usuarios para acatarla.
  - También surgen los siguientes principios genéricos:
    - tanto las condiciones hidrogeológicas como las condiciones socioeconómicas tienden a estar muy ligadas a una ubicación específica, por lo que no se puede proporcionar tan fácilmente una receta única para la gestión integrada del agua subterránea

- el desarrollo de un enfoque sobre la gestión que sea eficaz y sustentable siempre requerirá de la participación de los principales grupos interesados
- implantar las medidas de gestión a menudo requerirá desarrollar la capacidad, tanto de las autoridades encargadas de los recursos hídricos como de los usuarios del agua.

### ¿Cómo debe llevarse en la práctica la gestión integrada del agua subterránea?

- En la mayoría de las situaciones, la gestión del agua subterránea debe mantener un equilibrio razonable entre los costos y los beneficios de las actividades e intervenciones de gestión y, por ende, debe considerar la susceptibilidad a la degradación del sistema hidrogeológico en cuestión, así como los intereses legítimos de los usuarios del agua, incluyendo los ecosistemas y a quienes dependen del flujo base aguas abajo.
- En términos prácticos, será necesario establecer posibles intervenciones de gestión en el contexto de la evolución normal del desarrollo del agua subterránea, y para ello resulta conveniente distinguir diversos niveles (Tabla-3). Sin embargo, se debe observar que *a igualdad de costos, los enfoques preventivos de gestión posiblemente sean más eficaces que aquellos que sólo son reactivos.*

**Figura 3: Etapas de desarrollo y necesidades de gestión en un acuífero importante**



**Tabla 3: Niveles de herramientas, instrumentos e intervenciones de gestión de agua subterránea necesarios para una etapa específica del desarrollo del recurso**

HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA	NIVEL DE DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA O EL INSTRUMENTO CORRESPONDIENTE (según etapa de estrés hídrico)			
	0	1	2	3
<b>HERRAMIENTAS TÉCNICAS</b>				
Evaluación del Recurso	conocimiento básico del acuífero	modelo conceptual basado en información de campo	modelo(s) numérico(s) que operan simulando diferentes escenarios hipotéticos de extracción	modelos ligados con apoyos para toma de decisiones y usados para planificación y gestión
Evaluación de la Calidad del Agua	no se experimentan restricciones de calidad	la variabilidad de la calidad es un asunto relevante en la asignación	se entienden los procesos de calidad del agua	se integra la calidad en los planes de asignación
Monitoreo de Acuíferos	no hay programa regular de monitoreo	monitoreo de proyectos, intercambio de información ad-hoc.	rutinas de monitoreo establecidas	se usan programas de monitoreo para tomar decisiones de gestión
<b>INSTRUMENTOS INSTITUCIONALES</b>				
Derechos de Agua	derechos de agua consuetudinarios	aclaración esporádica de derechos de agua a nivel local (por medio de procesos judiciales)	se reconoce que los cambios en la sociedad se imponen a los derechos de agua consuetudinarios	derechos dinámicos basados en planes de gestión
Disposiciones Regulatoras	sólo regulación social	regulación restringida (por ejemplo, permisos para pozos nuevos, restricciones para perforación)	regulación y aplicación activa por una agencia que se dedique a ello	facilitación y control de auto-regulación por parte de grupos interesados
Legislación de Aguas	no existe	se discute la preparación de ley sobre recursos de agua subterránea	disposición legal para organizar a usuarios de agua subterránea	marco legal completo para gestión de acuíferos
Participación de los Grupos Interesados	poca interacción entre regulador y usuarios de agua	participación reactiva y desarrollo de organizaciones de usuarios	organizaciones de grupos interesados son cooptados en estructuras de gestión (por ejemplo, consejos de acuíferos)	grupos de interés y agencia reguladora comparten responsabilidad en la gestión de acuíferos
Conciencia y Educación	el agua subterránea es considerada como un recurso infinito y gratuito	recurso finito (campañas de conservación y protección del agua)	bien económico que forma parte de un sistema integral	interacción y comunicación efectivas entre grupos interesados
Instrumentos Económicos	casi no se reconocen las externalidades (la explotación es ampliamente subsidiada)	sólo se aplican cargos simbólicos por extracción de agua	se reconoce valor económico (reducción y orientación específica de subsidios a los combustibles)	se reconoce valor económico (se cobra adecuadamente y aumenta posibilidad de reasignación)
<b>ACCIONES DE GESTIÓN</b>				
Prevención de Efectos Colaterales	poca preocupación sobre efectos colaterales	se reconocen efectos colaterales (a corto y largo plazo)	medidas preventivas que reconocen valor <i>in-situ</i>	mecanismo para equilibrar usos extractivos y valor <i>in-situ</i>
Asignación del Recurso	restricciones limitadas para asignación	competencia entre usuarios	se definen prioridades para uso extractivo	asignación equitativa de usos extractivos y valor <i>in-situ</i>
Control de Contaminación	poco control sobre uso de suelo y descarga de desechos	zonificación territorial, pero sin control proactivo	control sobre contaminación puntual nueva y/o ubicación de pozos nuevos en zonas seguras	control de todas las fuentes de contaminación puntuales y dispersas

- La condición de una extracción excesiva y no sustentable (3A—Desarrollo inestable), que ocurre con demasiada frecuencia, también está incluida en la Figura 3. En este caso, la tasa total de extracción (y, por lo general, el número de pozos de producción) con el tiempo caerá marcadamente como resultado de la degradación casi irreversible del sistema de acuíferos en sí.
- En la Tabla 3, que ilustra la necesidad creciente de una gestión integrada del agua subterránea, se desglosa la gestión en una serie de aspectos interrelacionados y se indican los niveles de respuesta apropiados para cada nivel de desarrollo del recurso. Debe observarse que no se espera que el enfoque sobre desarrollo y gestión de los recursos de agua subterránea para acuíferos menores (con capacidad para proporcionar únicamente abastecimiento de agua potable rural y para ganado) pase del nivel 1 en la Tabla 3.
- El marco de referencia que se proporciona en la Tabla 3 puede ser utilizado como un instrumento de diagnóstico para evaluar la suficiencia de los arreglos existentes de gestión del agua subterránea para un nivel específico de desarrollo del recurso (tanto en términos de las herramientas técnicas como de las disposiciones institucionales). Al analizar los instrumentos o herramientas de gestión del agua subterránea existentes en un caso específico con un cierto nivel de desarrollo, se genera un perfil de diagnóstico que se puede comparar con la propuesta de la Tabla 3 para indicar qué aspectos prioritarios requieren de atención urgente. Cada uno de los principales grupos interesados también puede llevar a cabo dicho ejercicio de diagnóstico para promover la comunicación y el entendimiento. Por medio de este enfoque se pueden acordar las intervenciones de gestión necesarias para un entorno hidrogeológico y una situación de desarrollo de recursos específicos.

### Lecturas Adicionales

Clarke, R., Lawrence, A. and Foster, S.S.D. 1996. *Groundwater—a Threatened Resource*. UNEP Environment Library 15.

Custodio, E. and Dijon, R. 1991. *Groundwater Overexploitation in Developing Countries*. UN Interregional Workshop Report. UN-INT/90/R43: New York, USA.

Foster, S., Chilton, J., Moench, M., Cardy, F. and Schiffler, M. 2000. *Groundwater in Rural Development: Facing the Challenges of Supply and Resource Sustainability*. World Bank Technical Paper 463: Washington-D.C., USA.

Foster, S., Lawrence, A. and Morris, B. 1997. *Groundwater in Urban Development: Assessing Management Needs and Formulating Policy Strategies*. World Bank Technical Paper 390: Washington-D.C., USA.

Llamas, M.R. 1998. *Groundwater Overexploitation*. UNESCO Congress ‘Water in 21st Century: a Looming Crisis (Paris, France) 2: 1–20.

Salman, M.A. Ed. 1999. *Groundwater: Legal and Policy Perspectives*. World Bank Technical Paper No. 456: Washington D.C., USA.

#### Publicación

La Serie de Notas Informativas del GW•MATE ha sido publicada por el Banco Mundial, Washington D.C., EEUU. La traducción al español fue realizada por Héctor Garduño. También, está disponible en formato electrónico en la página de Internet del Banco Mundial ([www.worldbank.org/gwmate](http://www.worldbank.org/gwmate)) y la página de Internet de la GWP – Asociación Mundial del Agua ([www.gwpforum.org](http://www.gwpforum.org))

Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresados en este documento son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista del Directorio Ejecutivo del Banco Mundial ni de los gobiernos en él representados.

#### Patrocinio económico



El GW•MATE (Groundwater Management Advisory Team – Equipo Asesor en Gestión de Aguas Subterráneas) es parte del Bank-Netherlands Water Partnership Program (BNWPP) y usa fondos de fideicomiso de los gobiernos holandés y británico.

