

GESTIÓN APROPIADA EL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN AMÉRICA LATINA. LECCIONES DE EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

APPROPRIATE GROUNDWATER MANAGEMENT FOR LATIN AMERICA. LESSONS FROM INTERNATIONAL EXPERIENCE

Prof. Dr. Stephen Foster¹ (Director del GW-MATE²
Presidente de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos)
Ing. Héctor Garduño³ (Miembro del GW-MATE)

Resumen

La explotación de los recursos hídricos subterráneos en las regiones más áridas y expuestas a sequías de América Latina ha producido importantes beneficios económicos, pero también ha sido seriamente cuestionada su sostenibilidad. En este artículo se describen los esfuerzos realizados para controlar la extracción de agua subterránea y para asegurar la sostenibilidad del recurso, desde el punto de vista de cantidad y calidad, en tres zonas geográficas diversas en donde el recurso hídrico subterráneo juega un papel fundamental: el Vale del Carrizal en Mendoza, Argentina, la Chapada de Apodi en el nordeste de Brasil, la cuenca de Silao-Romita en Guanajuato, México, y la situación en algunos conglomerados urbanos importantes. Si bien cada caso es distinto y no es realista ofrecer una receta sencilla para realizar la gestión sostenible del recurso hídrico subterráneo en América Latina, sí es posible extraer y discutir algunas lecciones genéricas de este conjunto de experiencias.

Palabras Clave: agua subterránea, recursos hídricos subterráneos, gestión sostenible y protección, América Latina

Abstract

In the more arid and drought-prone areas of Latin America groundwater resource development for irrigated agriculture and for urban expansion has yielded major socioeconomic benefits – but is also seriously challenged by questions of sustainability. This paper describes efforts to control groundwater extraction and secure resource sustainability physically and/or chemically in three geographically diverse areas with important groundwater resources – the Carrizal Valley of Mendoza-Argentina, the Chapada do Apodi in North-East Brasil, and the Silao-Romita Basin of Guanajuato-Mexico – together with the situation in major urban conurbations. Although each case is significantly different and it is not realistic to offer a simple blueprint (or recipe) to promote groundwater resource management in Latin America, some useful generic lessons from this set of experiences can be derived and are discussed.

Keywords: groundwater resources, sustainable management and protection, Latin America

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Alcance del Artículo y Casos Presentados

Durante las últimas tres décadas, muchos países latinoamericanos han obtenido enormes beneficios sociales y económicos derivados del desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos, los cuales constituyen una fuente de abastecimiento de acceso flexible y bajo costo para la población urbana, la actividad industrial, el riego agrícola, y la supervivencia rural – además de ser muy valiosos para amortiguar las sequías.

Sin embargo, la magnitud de las demandas de agua subterránea que ha impuesto tanto la expansión urbana como los cultivos bajo riego en las zonas más áridas de la región (el norte y el centro de México, el noreste de Brasil, las costas de Perú y Chile y la zona pre-andina de Argentina) ha alcanzado niveles tales que se pone en duda la sostenibilidad de este recurso natural. Tal preocupación se agrava porque el uso del suelo muy frecuentemente no se realiza conforme a un ordenamiento territorial planificado y genera múltiples peligros de contaminación del recurso hídrico subterráneo. Las medidas para lograr la gestión y protección adecuada del agua subterránea representan uno de los retos más complejos de los recursos naturales que enfrenta la sociedad.

Para contribuir a enfrentar este reto, el GW-MATE viene preparando una Serie de Notas Informativas (Foster y Kemper, 2004) como introducción a la teoría y práctica de la gestión y protección del agua subterránea. Por otra parte, el GW-MATE ha estado asesorando varios casos específicos para

¹ email: GWMATEfoster@aol.com

² GW-MATE: Groundwater Management Advisory Team (Equipo Asesor en Gestión de Aguas Subterráneas del Banco Mundial y Programa Asociado de la GWP – Asociación Mundial del Agua) www.worldbank.org/gwmate

³ email: hgardunov@prodigy.net.mx

promover la gestión y protección del recurso hídrico subterráneo, y estos casos forman una Colección de Casos Esquemáticos (incluyendo ocho de América Latina); ambas están disponibles en www.worldbank.org/gwmate.

Este artículo presenta dos tipos diferentes de experiencias:

- los casos de Mendoza en Argentina, la *Chapada do Apodi* en Brasil y el estado de Guanajuato en México, para ilustrar el difícil reto de controlar y reducir la demanda de riego en acuíferos bajo estrés hídrico en zonas áridas
- las experiencias de grandes zonas urbanas (como Fortaleza en Brasil, Asunción en Paraguay y Buenos Aires en Argentina compartidas por varios otros lugares) en donde es indispensable establecer una visión y política de gestión integrada incorporando el agua subterránea.

Si bien, cada caso es diferente y no es realista ofrecer 'recetas sencillas' de gestión del agua subterránea a causa de la gran diversidad hidrogeológica, socioeconómica e institucional, sí es posible derivar lecciones genéricas de este conjunto de experiencias.

1.2 ¿Cómo Abordar la Gestión y Protección del Agua Subterránea?

La gestión y protección del agua subterránea pretende equilibrar la disponibilidad de un recurso complejo con las demandas crecientes de usuarios del agua y el suelo que pueden poner en riesgo su disponibilidad y sostenibilidad. Por la naturaleza oculta del recurso, no es sino hasta que alguno de

los grupos interesados observa que baja el nivel de 'su' pozo o se deteriora la calidad de 'su' agua que se pone de manifiesto la necesidad de la gestión. Pero el éxito de la gestión del agua subterránea radica más en 'manejar a la gente' que manejar al recurso, o dicho de una manera más correcta – 'facilitar que la gente asuma sus derechos y obligaciones en la gestión del agua'.

Aunque parezca una herejía, hay que contradecir a los que opinan que no es posible manejar en forma aislada a los acuíferos argumentando que el agua subterránea y el agua superficial están conectadas hidrológicamente. La verdad sea dicha, en la mayor parte de los casos de gestión de agua superficiales no se toman en cuenta de una manera importante los recursos hídricos subterráneos asociados. Otra verdad irrefutable es que hoy en día hay muchos acuíferos estresados y hay que enfrentar su gestión en forma pragmática, sin desprestigiar los principios básicos de la gestión integrada de los recursos hídricos, particularmente si las interconexiones hidráulicas son relativamente directas.

Lo que sí es insoslayable en la gestión del agua subterránea es tomar en cuenta tanto medidas de planificación estratégica, normalmente al nivel nacional, como asuntos de naturaleza fundamentalmente local (Figura 1). Por ejemplo, tan importante para regular la demanda es cobrar un cargo económico que refleje todo los costos de la extracción del agua subterránea que además sea justo y socialmente aceptable, como establecer una política de precios agrícolas y de energía eléctrica apropiada. Y también hay que reconocer que, aun cuando las medidas para incrementar la oferta del recurso, tales como la recarga artificial, pueden contribuir al equilibrio, en general las medidas para reducir la demanda son más efectivas y duraderas.



Figura 1 : Medidas locales y nacionales para la gestión del agua subterránea

Los casos que se presentan en seguida ilustran las aseveraciones anteriores. Por ejemplo, la política mendocina de impulso a la viticultura es responsable al mismo tiempo del auge económico de la provincia y del estrés del acuífero subyacente. Pero las vedas impuestas a la perforación de pozos y la participación multi-institucional para abordar el problema de la salinización y contaminación con hidrocarburos del agua subterránea constituyen una aplicación pragmática del marco legal hídrico centenario de Mendoza.

La colaboración de dos gobiernos estatales que comparten un acuífero en Brasil y la utilización del sistema de administración de derechos de agua y cobro por el uso del recurso muestran cómo la aplicación de ordenamientos e instrumentos económicos dentro del marco legal e institucional existente pueden sentar las bases para aprovechar en forma sostenible el agua subterránea para seguir impulsando el desarrollo económico de una región.

Los conflictos de políticas públicas de desarrollo económico con la necesidad de conservar la cantidad y calidad de los recursos hídricos subterráneos han llevado a la situación con alto riesgo de insostenibilidad que se experimenta en Guanajuato, México. Sin embargo, a pesar de que no se conocen con certeza todos los componentes de la recarga del agua subterránea y las interacciones con las aguas superficiales, ya es posible identificar acciones de gestión de la oferta y la demanda de agua que a nivel de cuenca hidrológica podrían contribuir a reducir la sobreexplotación y la contaminación de los acuíferos subyacentes.

2. CONTROL DE DEMANDA PARA IRRIGACION EN ACUÍFEROS BAJO ESTRÉS HÍDRICO

2.1 El Acuífero Carrizal de Mendoza, Argentina: veda efectiva de perforación de pozos

El acuífero Carrizal está formado principalmente por depósitos aluviales Cuaternarios en las faldas de las montañas y ocupa unos 240 km² de un paleo-valle entre los cursos actuales de los ríos Mendoza y Tunuyán. La zona es sumamente árida, con lluvia impredecible que promedia menos de 200 mm/año, pero el acuífero recibe una recarga importante de la infiltración del cauce del río y del sistema de riego superficial (Figura 2).

La tasa de recarga del cauce del río, determinada mediante aforos diferenciales, varía considerablemente con el caudal del río y su promedio entre 1979 y 1994 se estima en 85 Mm³/año. Por otra parte, la recarga de agua subterránea proveniente del sobreriego con agua superficial en Luján Sur se estima en 40 Mm³/año. Sin embargo, actualmente el régimen de recarga está cambiando como resultado tanto de la operación de un nuevo embalse del Río Mendoza aguas arriba (con condiciones de desvío

de flujo y de aguas claras) como del uso creciente del riego por goteo.

Tradicionalmente el Valle Carrizal era una zona hortícola, pero durante los 1990 se descubrió que tiene excelentes condiciones de suelo y microclima para viticultura de exportación. Como resultado los precios de la tierra agrícola son los más altos en toda la República Argentina – desde US\$ 50,000/ha para tierra con vides productivas y derechos de agua hasta US\$ 4,000/ha para tierra yerma pero con factibilidad de ser abastecida con agua subterránea.

El enfoque inicial para la gestión de recursos hídricos subterráneos del DGI (Departamento General de Irrigación, que en la provincia de Mendoza funge también como agencia de recursos hídricos) era promover la perforación de pozos para riego (en donde fuera factible) más allá de la zona dominada por los canales de riego o donde éstos fueran incapaces de satisfacer las máximas demandas de las plantas. Los usuarios de agua subterránea sufragan una parte importante (alrededor de US\$ 0.02/m³) del costo económico total, con excepción de un pequeño subsidio a la energía eléctrica para bombeo y de la exención del cobro por uso del recurso hídrico. En consecuencia el agua subterránea les resulta de siete a nueve veces más cara que el agua superficial, ya que la infraestructura de riego para esta última es gratis para los usuarios, por lo cual no se esperaba una explotación excesiva del acuífero.

Sin embargo, el desarrollo agrícola reciente en gran medida ha estado basado en la intensa utilización de los recursos hídricos subterráneos y actualmente en el valle existen de 600 a 700 pozos productivos. La situación era algo preocupante ya que:

- los mantos de agua subterránea se abatían, mientras que los usuarios de agua subterránea competían con los de agua superficial del Arroyo Carrizal, cuyo abastecimiento depende de la descarga del acuífero
- la productividad de viñedos y huertos estaba amenazada por las tendencias crecientes de salinización del agua subterránea.

En consecuencia, y dado que la demanda estimada sobrepasaba los recursos disponibles en años con recarga inferior al escurrimiento en el cauce del río, en 1997 se declaró una “zona de veda de agua subterránea” en el Valle de Carrizal.

El DGI está instrumentando un activo programa de gestión y protección del recurso hídrico subterráneo para intentar resolver los conflictos, con el cual se esté integrando el agua subterránea de una manera más consistente con la planificación de la infraestructura hidráulica y la gestión de los recursos hídricos en general. De hecho, se ha establecido una cooperación entre organizaciones públicas y del sector privado (*'public-private partnership'*) con objeto tanto de promover las siguientes investigaciones clave como un entendimiento compartido de los problemas:

- un reconocimiento de campo detallado (apoyado con Sistemas de Información Geográfica) de los derechos existentes de agua superficial y subterránea, el uso del agua y las prácticas de riego, como base para conocer a los usuarios y los incentivos a los que responden; con la participación de EDEMSA (la empresa privatizada de energía eléctrica) se está facilitando aprovechar las mediciones de consumo eléctrico rural para controlar y cobrar la extracción de agua subterránea, lo cual resulta muy conveniente si se toma en cuenta el costo y las complicaciones que implica la utilización de medidores de agua
- la preparación de un modelo numérico del acuífero, con la participación del INA (Oficina Regional Andina del Instituto Nacional del Agua) para proporcionar un instrumento que los usuarios comprendan fácilmente y que permita evaluar tanto el régimen del flujo de agua subterránea, como diversos escenarios de aprovechamiento del recurso y propuestas de medidas de gestión
- un reconocimiento de campo tridimensional de la calidad del agua subterránea, con objeto de que el INA pueda evaluar el probable origen (u orígenes) de la salinización del agua subterránea, tales como: (a) lixiviación de los suelos desérticos durante la preparación para la agricultura de riego, (b) fraccionamiento de sales en el agua subterránea y agroquímicos ocasionados por la agricultura de riego, (c) infiltración de agua salina de formación durante la operación de los campos petroleros y/o (d) ingreso lateral e infiltración de cursos de agua superficial salina
- evaluación junto con REPSOL-YPF (empresa petrolera multinacional) de la contaminación del agua subterránea ocasionada por fugas de hidrocarburos provenientes de la refinería Luján de Cuyo que se instaló en la parte superior del valle en 1943.

Se ha identificado una clara estratificación de la salinización del agua subterránea (Figura 2), con conductividad eléctrica (CE) de 2,500 a 4,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ generalizada hasta 70 m bns (bajo el nivel del suelo) y en algunos lugares aún a mayores profundidades. Los pozos con rejillas más profundas registran principalmente valores de 1,200 a 2,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ comparados con valores de 1,800 y 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que se observaron a finales de los 1960 en agua subterránea más somera y más profunda respectivamente. Otros elementos principales (tales como Cl, Ca, SO_4 y NO_3) y ciertos elementos traza (Sr, Li) muestran una distribución similar. La distribución del agua subterránea en cierta medida salinizada sugiere que el desarrollo y la operación de la agricultura de riego es la causa principal del problema. Sin embargo no debe descartarse una posible contribución adicional del agua de purga de

pozos petrolíferos y de ingresos laterales naturales de agua salina. Por lo tanto, lo que requiere una gestión más cuidadosa es la expansión de la frontera de la agricultura de riego (la cual genera flujos salinos adicionales) y la extracción del agua subterránea (con objeto de mantener el flujo en el acuífero para favorecer el lavado de sales que ya se encuentran en la zona saturada).

La estrategia de imponer una 'zona de veda de agua subterránea' ha sido útil para la gestión del recurso puesto que ha favorecido el control de extracción, tomando en cuenta que se ha permitido:

- la construcción de pozos con un uso más eficiente de la energía, al igualar la extracción con el rendimiento, reemplazando pozos existentes con la condición de sellarlos
- la reasignación de los recursos hídricos subterráneos a usos con mayor valor mediante la compra y sellado de pozos existentes, a precios superiores a los US\$ 10,000, construyendo otros pozos equivalentes cercanos en nuevas ubicaciones dentro de la misma zona.

Sin embargo, el DGI carece de atribuciones legales y/o recursos financieros para:

- transferir el agua superficial de los lugares en donde sobra a zonas que no tienen derechos
- reducir los derechos de agua superficiales a los usuarios ineficientes en zonas ribereñas.

El sistema existente de administración de derechos de extracción de agua subterránea en Mendoza estipula un cargo anual con base en el diámetro del pozo, como sustituto de la capacidad potencial instalada de la bomba, pero no distingue ni diferencias en eficiencia de riego ni el nivel de estrés hídrico en cada zona. El DGI podría generar un ingreso considerablemente mayor si mejorara el nivel de recaudación y todavía más si introdujera tarifas diferenciales en zonas críticas (tales como las zonas vedadas), con objeto de abordar problemas locales del recurso hídrico y poder hacerse de recursos económicos para intensificar el estudio de zonas problemáticas.

Las asociaciones de usuarios de agua (AUA), conocidas localmente como 'Inspecciones de Cauce' (IC), están organizadas conforme los canales primarios de riego y han sido exitosas durante algún tiempo. Recientemente se han transferido, a modo de prueba, ciertas responsabilidades de la gestión del agua subterránea en algunas zonas, tales como la recaudación de cargos por uso del recurso, la medición del uso del agua y la actualización del inventario de pozos. Sin embargo, existen algunas dificultades importantes para involucrar más plenamente a los usuarios en la gestión del recurso hídrico subterráneo, por ejemplo las demandas de algunos que exigen indemnización por 'daños

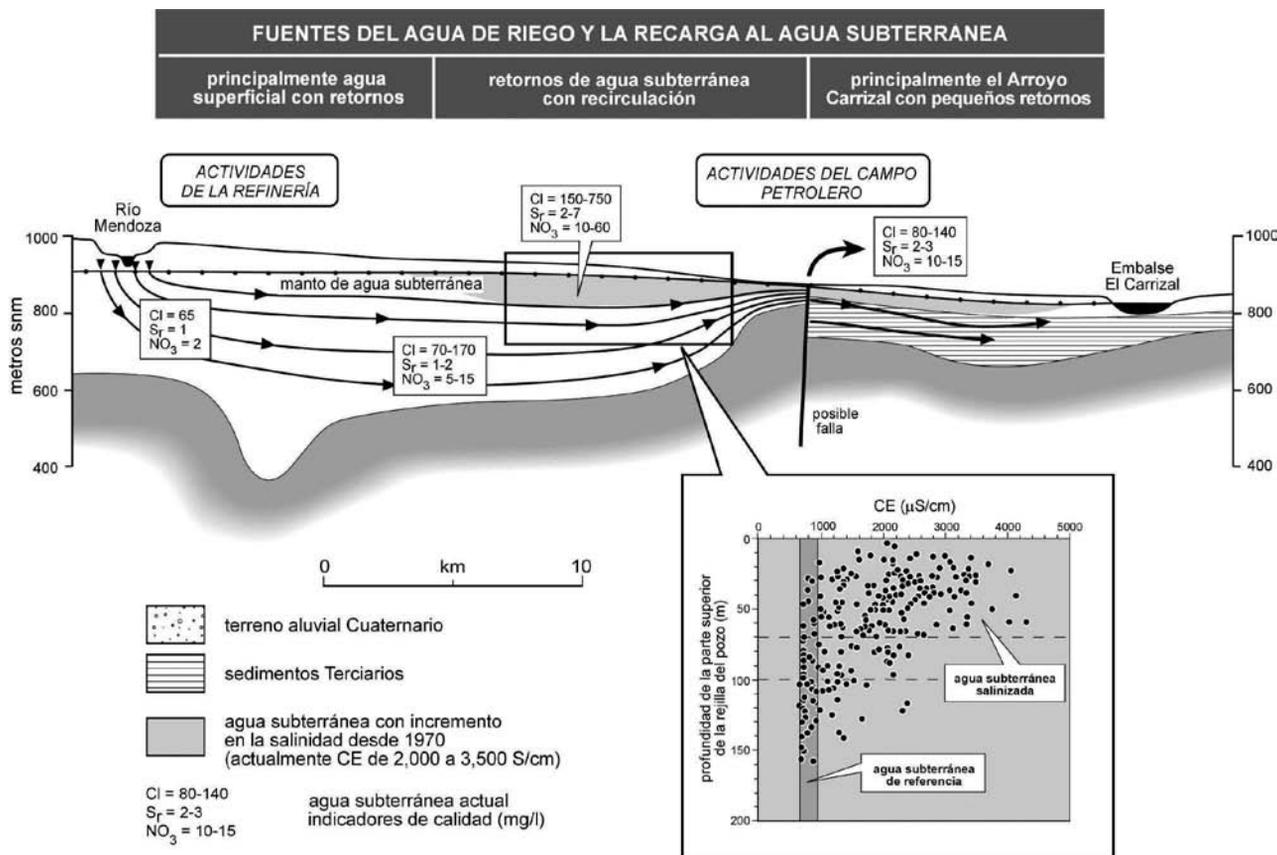


Figura 2 : Perfil hidrogeológico y hidroquímico a lo largo del Sistema Acuífero Carrizal

individuales' *vis à vis* la intervención de la Fiscalidad del Estado. Esto ha producido un clima social en el que el DGI encuentra difícil promover la plena participación comunitaria en la gestión del recurso hídrico subterráneo.

2.2 El Acuífero Apodi en Ceará y Rio Grande do Norte, Brasil: avances en los permisos y cobros de extracción y en la cooperación interestatal

La *Chapada Do Apodi* es una extensa llanura baja (de 80 a 140 msnm) en los estados de *Ceará* (35%) y *Rio Grande do Norte* (65%) ubicada sobre el 'Sistema Acuífero Apodi' (Figura 2). La precipitación promedio en la llanura es de 700 a 900 mm/año concentrada la mayor parte entre febrero y abril durante periodos cortos de muy alta intensidad.

El sistema acuífero comprende dos formaciones:

- la *Formación Jandaíra* no confinada con espesor hasta de 200 m que muestra variaciones laterales y verticales, desde calizas masivas cársticas hasta depósitos bio-clásticos y capas calcáreas de un aspecto mucho más margoso, y proporciona agua subterránea con alto contenido de bicarbonato de calcio

(STD de 1,700 a 1,900 mg/L) a pozos con profundidades de 60 a 150 m y rendimientos hasta de 200 m³/hr

- la *Formación Açu*, subyacente y semi-confinada, es una arenisca fluvial débilmente cementada con espesores principalmente entre 20 y 100 m, la cual proporciona agua subterránea de buena calidad (STD de 750 a 950 mg/L) a pozos con rendimientos hasta de 100 m³/hr.

Las principales fuentes de recarga del acuífero son:

- lluvias intensas sobre la extensa zona de afloramiento (por ejemplo de enero a febrero de 2004 los niveles freáticos se recuperaron unos 25 m gracias a una lluvia de 700 mm en menos de 20 días)
- retornos de riego con agua superficial de un sistema de transferencia que bombea 43 Mm³/año a la *Chapada do Apodi*, aunque esta fuente de recarga será drásticamente reducida a causa de un programa de recubrimiento de reservorios y canales primarios y secundarios realizado en 2004 asociado con sistemas de riego cada vez más eficientes.

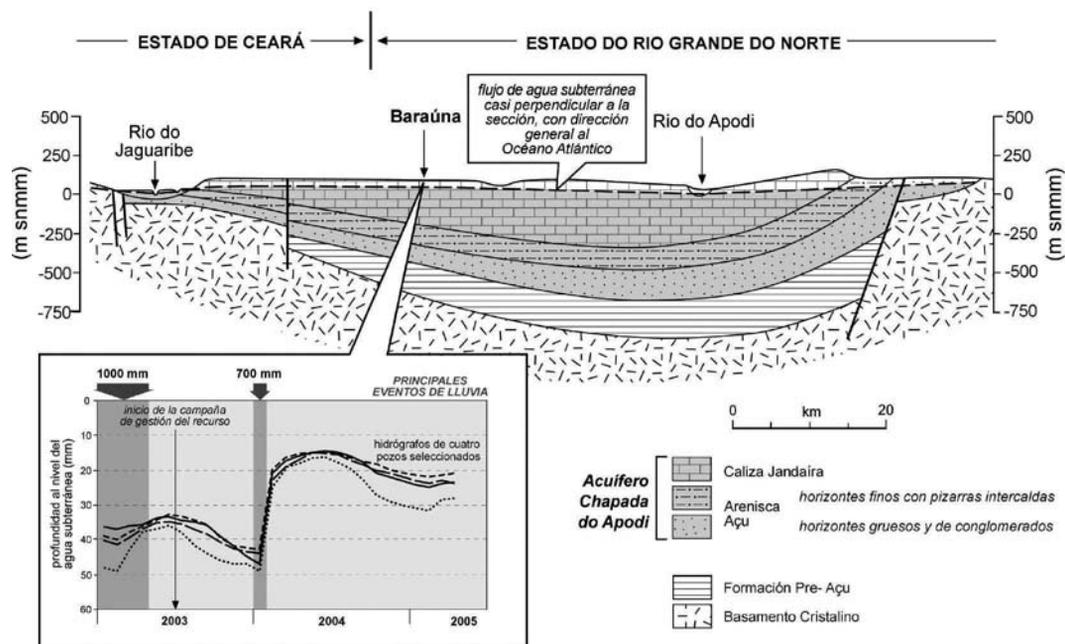


Figura 3 : Perfil hidrogeológico del Sistema Acuífero Apodi

A pesar de que no se han realizado mediciones piezométricas en una zona y en un periodo lo suficientemente amplios como para establecer las direcciones confiables del flujo de agua subterránea en la *Formación Jandaíra*, se sospecha que, después de eventos de recarga importantes, caudales considerables serán conducidos rápidamente en dirección noreste hacia el Océano Atlántico y la parte baja del Valle del río Apodi por rutas cársticas preferenciales.

Si bien no existe un inventario actualizado de pozos de agua, recientemente se ha llevado a cabo una campaña intensiva de recolección de datos en la zona alrededor de *Baraúna (RGN)* y algunos sectores menores en *Ceará*. Se estima que en *Ceará* existen unos 180 pozos que riegan 2,600 ha y otras 3,000 ha están bajo riego superficial, mientras que en *Rio Grande do Norte* unos 300 pozos riegan alrededor de 4,000 ha, incluyendo 42 agroempresas de gran escala.

El fenómeno del riego con agua subterránea a gran escala para frutas tropicales comerciales, principalmente melón, papaya, piña, mango y plátano, es reciente y ocasionó que la profundidad del nivel freático haya caído de 20 a 25 m bns hasta 30 a 50 m bns hacia finales de 2002. Se dice que el costo para desarrollar infraestructura de agricultura comercial, incluyendo tecnología de riego y abastecimiento de agua subterránea, es de aproximadamente US\$ 9,100/ha y por lo tanto puede decirse que la inversión de capital privado para el cultivo de frutas comerciales con base en agua subterránea en la *Chapada do Apodi* ha sido de US\$ 70 millones, y

se espera que la demanda siga creciendo. Otros usos tradicionales del agua subterránea son tanto el abastecimiento urbano de los poblados de la zona como abrevaderos y usos domésticos en pequeñas comunidades rurales.

Para asegurar la sostenibilidad de este desarrollo agrícola de gran importancia económica, existe la necesidad imperiosa de definir el límite del uso del agua subterránea y de implementar las restricciones necesarias mediante arreglos locales de administración de recursos hídricos. En Brasil los recursos hídricos subterráneos pertenecen al dominio público de las jurisdicciones estatales correspondientes. Tanto *Ceará* como *Rio Grande do Norte* promulgaron sus leyes estatales de aguas antes de que la ley nacional de aguas fuera aprobada, y posteriormente han desarrollado legislación secundaria e instituciones para la gestión de los recursos hídricos (bajo la coordinación de la *SRH-Ceará* y *SERHID-RGN*), incluyendo comités de Cuenca (*CBH: Comités de Bacia Hidrográfica*) para promover la cooperación de los grupos interesados.

Ya se han dado algunos pasos importantes hacia la gestión sostenible del agua subterránea:

- después de un período en el que se registró un fuerte abatimiento del manto de agua subterránea, *SERHID* lanzó una intensa y creativa campaña de comunicación pública en los alrededores de *Baraúna (RGN)* que permitió declarar en abril de 2003 una zona de emergencia para la conservación del recurso hídrico subterráneo, con veda temporal de perforación de pozos para riego y renovación

de los permisos de extracción a todos los pozos existentes con el compromiso de instalar tuberías de acceso para monitorear el nivel del agua subterránea y medidores para estimar los caudales utilizados

- SRH-Ceará ha progresado en el cobro de US\$ 0.001 a US\$ 0.003/m³ por el uso del agua subterránea en agricultura comercial de riego, sin embargo se reconoce que el cobro por sí solo no será suficiente para regular el uso del recurso ya que el abastecimiento de agua representa solamente una pequeña proporción de los costos totales de producción en la agricultura de riego.

Con base en la asesoría del GW-MATE, se ha establecido un Grupo Interestatal de Trabajo para la Gestión del Agua Subterránea con los objetivos inmediatos de aprovechar los resultados de las investigaciones y el monitoreo del agua subterránea que se encuentran en marcha, preparar notas conceptuales para trabajos adicionales que se vayan requiriendo y proporcionar periódicamente asesoría coordinada a las respectivas administraciones estatales. Es necesario profundizar en la evaluación de los siguientes temas prioritarios con objeto de proporcionar bases sólidas para la definición de políticas interestatales sobre el desarrollo agrícola con base en agua subterránea:

- mejorar el conocimiento de las características del almacenamiento y flujo del acuífero
- completar el levantamiento de la extracción del agua subterránea, los usuarios y el uso en riego, para establecer los 'factores limitantes' sobre la demanda, tales como tipos de suelo, rendimiento de pozos, costos de inversión y mercados para los cultivos
- imponer restricciones para enfrentar el riesgo de contaminación por agroquímicos.

A su vez, esto implica mayores inversiones en el monitoreo del agua subterránea.

Es probable que en su momento resulte necesario que el gobierno federal autorice un Acuerdo Regulatorio Interestatal para la gestión del sistema acuífero compartido, incluyendo alguna forma de 'marco de referencia mínimo' en cuanto a sistemas compartidos de información, usos prioritarios acordados, restricciones a la explotación y medidas para proteger el recurso.

2.3 Los 'COTAS' de Guanajuato, México: hacia una gestión participativa del agua subterránea

Los acuíferos del estado de Guanajuato se encuentran principalmente en una serie de cuencas elevadas separadas por cadenas de colinas. En particular, el sistema acuífero Silao-Romita comprende una secuencia de gran espesor con sedimentos aluviales Terciarios, interrumpidos ocasionalmente por arcillas lacustres, que sobreyacen a tobas riolíticas, con

intrusiones de diabasas Cuaternarias. Originalmente, había agua subterránea a poca profundidad en un acuífero freático pero, la extracción lo agotó rápidamente. En la actualidad, la parte más profunda de los depósitos aluviales Terciarios junto con la subyacente toba riolítica proporciona la mayor parte del agua subterránea a pozos con niveles que alcanzan los 100 m bns.

El sistema acuífero Silao-Romita es recargado por diversos mecanismos:

- el ingreso lateral sub-superficial desde interfluvios vecinos, especialmente cuando éstos se forman por el afloramiento de la riolita Terciaria
- la recarga vertical directamente de la precipitación en exceso o indirectamente de los cursos de agua superficiales junto con retornos de riego excedente, ya sea con agua superficial o subterránea, pero complicado por la presencia de acuíferos locales colgados.

La Comisión Estatal de Aguas de Guanajuato (CEAG) lleva a cabo un programa bien enfocado del monitoreo y modelación numérica de acuíferos. Sin embargo, la estimación de los componentes de la recarga proveniente de los mecanismos mencionados todavía presenta ciertas incertidumbres. Pero, esto no es un impedimento para reconocer que el acuífero ha estado durante mucho tiempo sujeto a una extracción excesiva a través de unos 1,500 pozos que extraen actualmente alrededor de 340 Mm³/año principalmente para riego agrícola – mucho mayor que la recarga que apenas llega a un valor estimado de 110 Mm³/año. La sobreexplotación anual resultante es tal que la magnitud de las profundidades de bombeo están haciendo inviables muchos tipos de agricultura de riego. Lo que es más, recientes modelaciones hidroeconómicas del manto de agua subterránea descendente claramente demuestran que las relaciones beneficio/costo para diversas acciones de gestión son muy superiores a dichas relaciones para el 'escenario sin acción' (Figura 4).

La historia del vaciado de los acuíferos del estado de Guanajuato es muy larga y los niveles del agua subterránea todavía están abatiéndose a razón de 2 a 3 m/año. Esto ha producido efectos muy graves, tales como costos ascendentes de operación y reposición de las fuentes de abastecimiento de agua urbanas y rurales, deterioro de la calidad del agua y/o su salinización, y asentamientos del terreno con los consecuentes daños a la infraestructura pública y privada. Desde principios de los 1990, la agencia federal de gestión de recursos hídricos (CNA) ha realizado importantes esfuerzos para establecer un sistema de administración de derechos de agua. Sin embargo, la insuficiencia de recursos para hacer valer la ley y las dificultades para lograr la participación de los usuarios, ha erosionado dichos esfuerzos y consecuentemente en general no se castiga a los que violan la ley. Más aún, los intentos anteriores

para restringir la extracción de agua subterránea mediante vedas de perforación también fallaron a causa de la falta de capacidad para implementar en campo una política que, de hecho, contradecía las tendencias socioeconómicas estimuladas por otras políticas públicas.

Consecuentemente, a finales de los 1990, la CNA promovió el establecimiento de organizaciones de la sociedad civil, llamadas COTAS (Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas) para contribuir a abordar los retos de la gestión del recurso hídrico subterráneo en los más de 100 acuíferos sobreexplotados. Por su parte, el gobierno de Guanajuato arrancó un programa complementario, mediante el cual (a través del fideicomiso FIPASMA) de 1998 a 2003 ha otorgado un apoyo total de US\$ 4 millones a cada uno de los 14 COTAS del Estado para gastos de inversión y operación. El consejo directivo de un COTAS está constituido exclusivamente por usuarios de agua subterránea y su personal operativo ejecuta el programa de trabajo acordado anualmente con la CEAG. Reciben apoyo técnico del personal de CEAG, universidades y tecnológicos locales, además de interactuar con el personal local de la CNA en materia de aspectos jurídicos de la administración de los recursos hídricos subterráneos. No puede ponerse en tela de juicio el papel fundamental de la participación social en la gestión y protección del agua subterránea y en este sentido los COTAS son un modelo institucional valioso, habiéndose

previsto que lleven a cabo los siguientes tipos de actividades:

- desarrollar capacidades como apoyo para la implementación de planes de gestión del recurso
- promover proyectos para resolver problemas locales específicos de agua subterránea
- apoyar al gobierno federal en la administración de los derechos de agua subterránea
- Incrementar la conciencia sobre las necesidades de gestión del agua subterránea
- ofrecer diversos servicios a los usuarios del agua subterránea, desde representar sus intereses en las negociaciones con el gobierno estatal hasta asistirlos en sus trámites de concesión de agua subterránea y en la operación eficiente de sus pozos
- lograr la sostenibilidad financiera mediante acciones para incrementar la membresía y el establecimiento de vínculos con socios públicos y privados apropiados.

Es probable que se requiera una combinación de las siguientes medidas de gestión de la demanda:

- reducción del subsidio a la energía eléctrica
- sustitución de cultivos por otros que demanden menos agua, con las correspondientes reducciones en los derechos de agua
- mejoramiento de la eficiencia de riego.

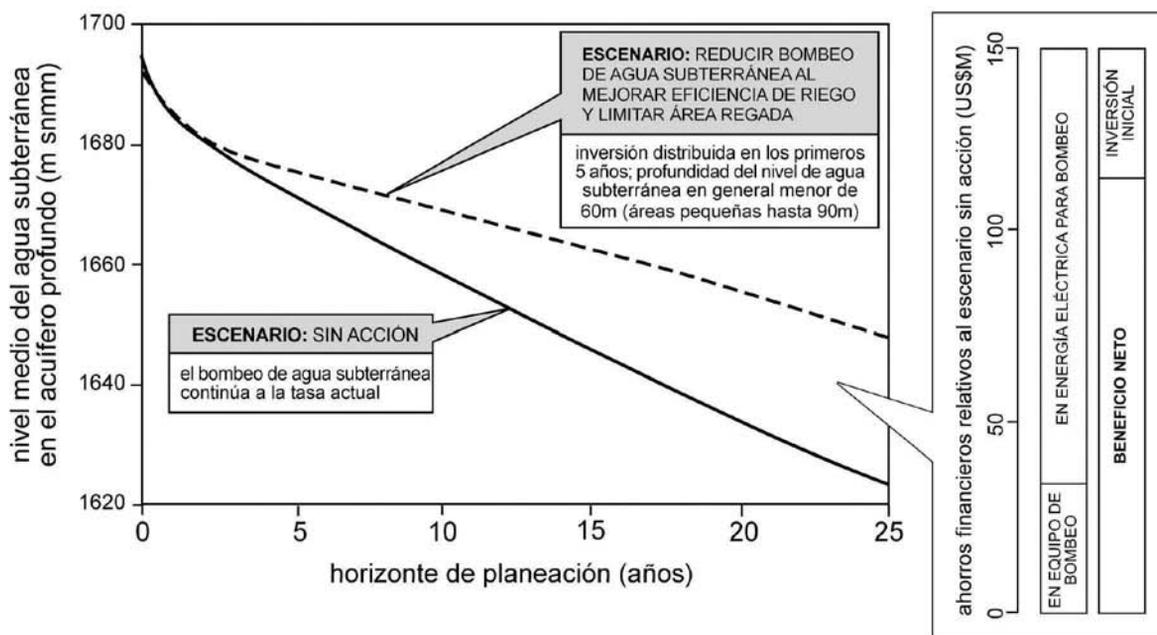


Figura 4 : Modelación hidroeconomica del escenarios de gestión de los recursos hídricos subterráneos del sistema acuífero Silao-Romita

Adicionalmente, es posible en algunos sitios mejorar la recarga de los acuíferos por medio de estructuras retenedores a lo largo de arroyos pequeños para mejorar la infiltración en sus cauces, de la colocación de columnas de drenado para mejorar la infiltración durante las inundaciones en las planicies, y de medidas para reducir el escurrimiento en las laderas permeables. Sin embargo, todavía no se ha comprobado que dichos métodos sean efectivos para recargar el acuífero profundo.

El principal objetivo concebido para los COTAS es proporcionar la base social para promover medidas que reduzcan y en algún momento detengan el vaciado del acuífero. De la experiencia hasta la fecha, es claro que los COTAS solos no pueden lograr este objetivo, pero tampoco la 'administración del agua' puede lograrlo sin los COTAS. Para alcanzar una administración efectiva es indispensable establecer una verdadera asociación entre la administración federal de los recursos hídricos (CNA), la agencia estatal del agua (CEAG) y los COTAS. Actualmente, una dificultad importante es la falta de capacidad de CNA para hacer valer la ley en lo referente al cumplimiento de los títulos de concesión y la perforación de pozos clandestinos. Sin embargo, las mejorías logradas en el registro de usuarios de aguas subterráneas con la participación de los COTAS y el apoyo de CEAG constituyen un paso importante en la dirección correcta. El siguiente paso, para avanzar en la depuración del registro y mantenerlo al día, sería lograr un acuerdo entre CNA y CEAG para inyectar fondos adicionales al FISPASMA y descentralizar ciertas funciones que permitieran que los COTAS realizaran labores más relevantes a nivel de campo y oficina.

El riesgo es que los COTAS, en la medida en que se involucren cada vez más en un amplio espectro de actividades relacionadas con el agua, pierdan de vista el principal objetivo de reducir y en algún momento detener, el vaciado del acuífero. Es vital dar el mayor énfasis posible a lograr 'ahorros reales de agua subterránea' y no solamente a implementar tecnología de uso de agua más eficiente. Lo importante es tomar medidas para reducir las pérdidas ocasionadas por la evaporación no benéfica o la infiltración a cuerpos de agua de mala calidad, tanto en el medio rural como en zonas urbanas. Los programas para ahorrar agua deben estar orientados a reducir el uso consuntivo del agua, tanto como sea posible sin comprometer los ingresos de los agricultores, pero también hace falta:

- reducir en forma concomitante los derechos de extracción de agua subterránea y, en muchos casos imponer restricciones en la superficie bajo riego
- reasignar los derechos de uso de agua subterránea a otros usos no consuntivos urbanos o industriales que a su vez puedan regresar agua residual tratada para

aprovecharse en riego agrícola en las zonas rurales.

3. USO Y GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN CIUDADES LATINOAMERICANAS. Una compleja relación polifacética y frecuentemente soterrada

El agua subterránea y el subsuelo que la contiene juegan un papel importante (pero frecuentemente menospreciado y algunas veces ni siquiera reconocido) en la infraestructura de la mayoría de las ciudades latinoamericanas, y no solamente en aquellas en donde el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento, como la ciudad capital y León en México, San José de Costa Rica, Lima en Perú, Natal en Brasil, etc. También ocurre en ciudades, tales como Asunción en Paraguay, Fortaleza en Brasil, etc, en las que las necesidades domésticas y pequeños proveedores de agua se abastecen del subsuelo, y en otras, como Buenos Aires en Argentina, en donde hasta cierto punto el agua subterránea ha dejado de utilizarse a causa de 'importaciones de agua superficial' con consecuentes problemas sanitarios y de drenaje en extensas áreas.

Desde el punto de vista hidrológico, el proceso de urbanización tiende a interactuar con el sistema de agua subterránea subyacente en diversas formas, en distintos sitios y en diferentes etapas, causando:

- agotamiento de los recursos hídricos subterráneos y abatimiento de los mantos freáticos ocasionados por la explotación excesiva y sin control, en algunos casos produciendo intrusión salina y asentamientos del terreno
- tasas crecientes de recarga de los acuíferos, ocasionadas principalmente por la infiltración proveniente del saneamiento *in situ* disponiendo 'agua superficial importada' y de fugas de las redes de agua potable y alcantarillado, haciendo que los niveles de agua subterránea suban cuando deja de bombearse para el abastecimiento urbano
- contaminación del agua subterránea ocasionada por la infiltración de aguas residuales, proveniente del saneamiento *in situ*, fugas del alcantarillado y riego con aguas residuales.

El grado de susceptibilidad y vulnerabilidad de los sistemas de aguas subterránea a impactos negativos de estos procesos varía grandemente con la situación hidrogeológica, y el nivel del impacto también depende de la etapa del desarrollo urbano.

Las variantes de interdependencia entre los procesos de urbanización y los sistemas de agua subterránea conducen a diversos conflictos de interés potenciales (Figura 5) que es necesario abordar con medidas de gestión para evitar una espiral de riesgos y costos

crecientes. A continuación se describen los más usuales e importantes.

Servicio de Agua Proporcionado por Empresa Urbana versus Abastecimiento a Pequeña Escala con Agua Subterránea

- El uso incidental combinado de redes de abastecimiento de agua y fuentes privadas de agua subterránea pueden tener beneficios importantes, tales como: (a) asegurar la continuidad del abastecimiento a consumidores tanto domésticos como industriales durante una sequía y a consumidores específicos, tales como instalaciones turísticas y algunas plantas industriales, que son difíciles de abastecer con la red de distribución y (b) en lugares en los que el agua subterránea somera de baja

calidad se utiliza para riego de jardines y como agua de enfriamiento.

- Sin embargo, el acceso incontrolado al agua subterránea para un autoabastecimiento generalizado puede afectar significativamente la sostenibilidad financiera de las empresas urbanas de agua potable como resultado de: (a) ingresos menores a los previstos si todo el abastecimiento proviniera de la empresa, (b) dificultades para cobrar por el uso del agua con tarifas superiores a la del consumo mínimo, o (c) dificultades para recaudar cargos por el uso del alcantarillado para desalojar el agua residual resultado de usos abastecidos con pozos privados.

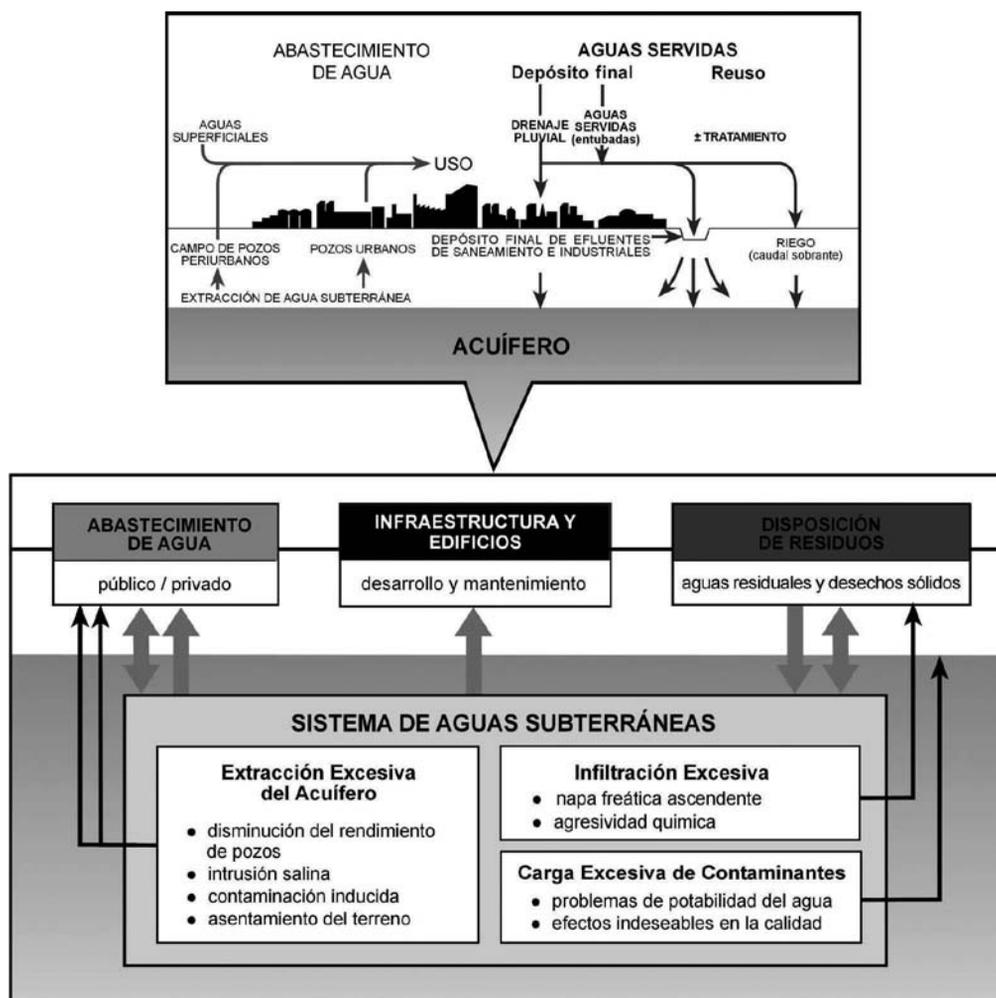


Figura 5 : Dinámica de la urbanización e interacciones con agua subterránea subyacente

Competencia por el Recurso Hídrico Subterráneo entre Empresas Urbanas y los Usuarios Privados

- En las ciudades ubicadas encima de acuíferos importantes generalmente se da una competencia fuerte por los recursos hídricos de agua subterránea disponibles entre las empresas de agua, los usuarios autoabastecidos industriales y comerciales y otros usuarios.

- Si no se maneja en forma adecuada el acceso al agua subterránea, los niveles se abaten, y en ocasiones se produce intrusión salina y asentamientos del terreno. Esto, a su vez, limita el acceso al agua y aumenta los costos para todos los usuarios, además de que el recurso y/o la tierra se degradan irreversiblemente llevando a impactos de largo plazo en el capital social y ambiental.

Riesgos Ocasionados en los Pozos de Abastecimiento de Acuíferos Someros por el Saneamiento de Bajo Costo

- El saneamiento *in situ* de bajo costo puede tener un grave impacto negativo en la calidad del agua subterránea cuando se practica en acuíferos especialmente vulnerables o en zonas con densidades de población inaceptables y sin diseños adecuados. Lo mismo ocurre, aunque en menor grado, cuando el depósito final de residuos sólidos se lleva cabo en tiraderos o rellenos sanitarios de bajo costo.
- Tales prácticas pueden contaminar seriamente a los acuíferos someros con compuestos de nitrógeno, trazas de elementos orgánicos y aún patógenos fecales, particularmente en donde el diseño de los pozos de agua no cumple con los estándares. Esto puede producir serios peligros para la salud de los que utilizan agua subterránea somera de pozos de bajo costo para su abastecimiento doméstico.

Reúso de Aguas Residuales en Riego versus Calidad del Agua Subterránea

- El riego con agua residual urbana es práctica común en zonas aluviales aguas abajo de las ciudades en las regiones más áridas, en ocasiones a gran escala. Este uso de las aguas residuales puede proporcionar beneficios importantes a los agricultores y frecuentemente incrementa las tasas de recarga al agua subterránea. Pero la calidad de esta recarga es tal que representa una importante amenaza al agua subterránea y un peligro de contaminación tanto para los campos de pozos ubicados en la vecindad como para los pozos someros de abastecimiento doméstico para la población rural local.
- La magnitud de este peligro varía mucho en función de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, del tipo de agua residual y su nivel de tratamiento y de la magnitud de la recarga de agua residual comparada con otras fuentes de recarga natural. Con objeto de manejar esta práctica y equilibrar los intereses de los beneficios agrícolas con los riesgos sanitarios, es necesario mejorar el ordenamiento territorial y controlar la calidad del agua residual mediante la eliminación de los patógenos y los componentes industriales peligrosos.

El Papel de la Extracción de Agua Subterránea en el Drenaje y Saneamiento Urbano

- El proceso de urbanización en general, y en particular el abastecimiento de las redes de agua potable con 'agua superficial importada'

incrementa las tasas de recarga al agua subterránea a través de saneamiento *in situ* y fugas de redes de agua y alcantarillado. Si, por alguna razón, por ejemplo mala calidad del agua o cambios en los patrones de la demanda urbano industrial, se reduce importantemente la extracción de agua subterránea, entonces podrán subir los niveles freáticos, frecuentemente sobrepasando los que existían antes de la urbanización.

- El fenómeno llamado 'rebote del nivel freático' puede ocasionar problemas costosos y peligrosos en cuanto al drenaje de la tierra, la operación de los sistemas de saneamiento tanto con alcantarillado como *in situ*, y en cuanto a la inestabilidad o daños a las cimentaciones de edificios y otras estructuras sub-superficiales. Frecuentemente la única solución práctica para enfrentar este problema implica regresar a un sistema de bombeo con pozos de agua, de tal manera que no es posible escapar de la necesidad de hacer una gestión del agua subterránea aun cuando ya no sea tan necesaria como fuente de abastecimiento.

Resulta evidente de todas las consideraciones anteriores que en áreas urbanas es muy recomendable adoptar una visión holística integrada sobre el funcionamiento del sistema de agua subterránea subyacente en relación con la infraestructura urbana en general, y así definir el conjunto de objetivos diferentes de la gestión requerida. Tal vez la mayor necesidad sería el establecimiento de algún tipo de 'comité intra-institucional revisor permanente' – integrando a expertos de agua subterránea locales con los responsables del servicio de agua y saneamiento y de la infraestructura de la ciudad, que encargara una serie de estudios básicos sobre las diversas facetas del agua subterránea urbana y promoviera un diálogo entre los grupos interesados sobre 'las oportunidades y los riesgos' que ofrecen las características del sistema local de agua subterránea.

Poner en práctica medidas de gestión y protección del agua subterránea requiere aplicar diversos marcos jurídicos para la gestión de los recursos hídricos, los servicios de agua y saneamiento y el ordenamiento territorial, y equilibrar los objetivos tanto de las instituciones responsables de cada uno de ellos como de otros grupos interesados privados, tales como los mismos usuarios del agua urbana, los desarrolladores inmobiliarios y los usuarios de las aguas residuales urbanas aguas abajo de la ciudad. Esto es complicado y conviene tomar medidas graduales con base en los marcos jurídicos y las instituciones existentes; posteriormente el 'comité intra-institucional revisor permanente' consideraría la necesidad de proponer mejoras a los marcos mencionados.

4. PRINCIPALES LECCIONES GENÉRICAS

De las experiencias relatadas en América Latina es fácil concluir que, aun cuando no siempre se cuenta con las agencias gubernamentales idóneas, en general existen equipos de geohidrólogos bien preparados en aspectos técnicos pero hace falta reforzar su capacitación en las dimensiones sociales, económicas, institucionales, legales y políticas de la gestión y protección del recurso hídrico subterráneo. Asimismo, es clara la tendencia a dedicar la mayor parte de los recursos de gestión al mejoramiento del conocimiento del recurso en sí y muy poco a profundizar en el entendimiento de los usos y usuarios del agua subterránea.

Las siguientes lecciones de naturaleza general podrían contribuir a lograr en mayor equilibrio en el abordaje de los problemas de agua subterránea de la región:

- El conocimiento del marco hidrogeológico es indispensable para definir las medidas necesarias de gestión del recurso hídrico subterráneo, pero no debe caerse en la trampa de tratar de mejorar indefinidamente el conocimiento técnico antes de actuar sobre la gestión. Por lo general es factible hacer mejoras graduales en la gestión dentro del marco legal e institucional existente y con la información disponible, y en paralelo fortificar la base de datos y el monitoreo en forma iterativa.
- Para tener éxito en la gestión del recurso hídrico subterráneo y en la protección de su calidad, es indispensable contar con una agencia gubernamental con el mandato legal y el respaldo político necesarios para constituirse en 'vigilante del agua subterránea'.
- Una sola 'herramienta de gestión' rara vez será suficiente para lograr la gestión sostenible del agua subterránea, porque se requiere reconciliar los enfoques 'desde arriba' y 'desde abajo' por medio de un conocimiento técnico sólido, intervenciones de política a nivel nacional y estatal, instrumentos legales y económicos, y la participación social.
- Para movilizar la participación de los usuarios en la gestión del agua subterránea es esencial contar con una base de datos sistemática de los grupos de usuarios, sus patrones de uso y sus características socioeconómicas.
- Un sistema completo y formal de derechos de agua subterránea no es la panacea, pero si se diseña en forma flexible consistente con el grado de conocimiento del recurso y con las capacidades institucionales y de los usuarios puede contribuir a la asignación racional, y eventualmente a la reasignación, del agua subterránea.
- El cobro de cargos por extracción del agua subterránea es una herramienta importante

para la gestión de la demanda, pero para implementarla se requiere de una base transparente y aceptada para cuantificar la extracción y el uso del agua.

- La gestión del agua subterránea en zonas urbanas es una tarea más multifacética que en el medio rural, por lo que es necesario abordarla con una visión integrada, por medio del establecimiento de algún tipo de 'comité intra-institucional revisor permanente'.

5. AGRADECIMIENTOS

En este artículo se han resumido las experiencias que el GW•MATE (Groundwater Management Advisory Team – Equipo Asesor en Gestión de Aguas Subterráneas del Banco Mundial) ha tenido en América Latina desde 2000. Este equipo interdisciplinario, financiado por fideicomisos de los gobiernos holandés (BNWPP), británico (DfID) y sueco (por medio de la GWP – Asociación Mundial del Agua), tiene como función principal apoyar al Banco Mundial y a sus clientes de diversos países en la gestión del recurso hídrico subterráneo relacionada con la implementación de proyectos. 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.

Sin embargo, los autores desean manifestar que han podido realizar su trabajo gracias al apoyo y orientación de varios gerentes de proyecto del Banco Mundial (Musa Asad, Gabriel Azevedo, David Michaud, Doug Olson y Alvaro Soler) y las coordinadoras del GW•MATE (Karin Kemper y Catherine Tovey). También desean expresar su profundo agradecimiento a los clientes del Banco Mundial en los proyectos concernientes, así como a los diversos funcionarios y consultores nacionales mencionados abajo, por la información y valiosas opiniones que nos proporcionaron.

Argentina – Departamento General de Irrigación de la Provincia de Mendoza (DGI): Javier Zuleta, Alejandro Gennari, Mario Luraschi, Patricio Rodríguez, Anibal Manssur, Gonzalo Ortiz, Patricia Bueno, Nicolás Martinis, Amilcar Alvarez y Pedro Lohn.

Brasil – Secretaría de Recursos Hídricos del Estado de Ceará (SRH-CE) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Hídricos del Estado Rio Grande do Norte (SEMARH-RN): Francisco Teixeira, Daniel Sandford, Liduina Carvalho, Francisco Pessoa, Antonio Martins, Carlos-Eduardo Leite, Zulene Almada, Vera-Lucia Castro, Jeni Melo-Moraes y Edilton Feitosa.

México – Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG) y Comisión Nacional del Agua (CNA): Ricardo Sandoval, Julieta Barrera, José Luis Cruz, Ricardo Ducoing, Beatriz Azevedo, Adolfo Chávez,

Adan Pinales, Manuel Ham Chi, Felipe Arreguín & Rubén Chávez.

6. BIBLIOGRAFÍA

Foster, Stephen y Kemper, Karin. 2004 GW-MATE Serie de Notas Informativas 0 '*Panorama de la Serie*'. Banco Mundial / GWP.

Foster, Stephen y Garduño, Héctor. 2005 GW-MATE Colección de Casos Esquemáticos 16 '*Promoción de la gestión de un acuífero interestatal que se explota para el riego agrícola: el caso de Chapada do Apodi en el Nordeste de Brasil*'. Banco Mundial / GWP.

Foster, Stephen y Garduño, Héctor. 2005 GW-MATE Colección de Casos Esquemáticos 6 '*Enfoque de*

gestión integrada para la conservación del agua subterránea en los acuíferos de Mendoza, Argentina'. Banco Mundial / GWP.

Foster, Stephen y Garduño, Héctor. 2005 GW-MATE Colección de Casos Esquemáticos 10 '*Los 'COTAS' de Mexico – avances en la gestión participativa del agua subterránea en Guanajuato*'. Banco Mundial / GWP.

Foster, Stephen, Lawrence Adrian y Morris Brian. 2001 '*Las aguas subterráneas en el desarrollo urban : evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias*'. Banco Mundial – Documento Técnico 390. Banco Mundial.