

Aguas subterráneas y agricultura de regadío:

haciendo una relación beneficiosa más sostenible



A nivel mundial, la agricultura de regadío es el mayor extractor y el consumidor predominante de los recursos hídricos subterráneos, habiendo surgido ampliamente importantes agro-economías dependientes del agua subterránea. Pero en muchas zonas áridas y proclives a las sequías, su uso irrestricto está causando un serio agotamiento de los acuíferos y degradación ambiental, a la vez que las prácticas de cultivo ejercen una gran influencia sobre la recarga y calidad del agua subterránea. Las interacciones entre el riego agrícola, el agua superficial y los recursos hídricos subterráneos son a menudo muy estrechas; tanto es así que es necesaria la existencia de un diálogo activo entre sectores y una visión integrada para promover una gestión sostenible de tierras y el agua. Se requiere la orientación de políticas claras y una acción local centrada para hacer un mejor uso de las reservas de agua subterránea para la mitigación de las sequías y la adaptación al cambio climático. Para ser efectivas las políticas deben estar hechas a medida de las configuraciones hidrogeológicas y las realidades agroeconómicas locales, y su implementación requerirá de "arreglos institucionales" apropiados (con un punto focal claro y poder estatutario para la gestión de aguas subterráneas), participación integral de la comunidad agrícola y una mayor alineación de las metas de desarrollo agrícolas con la disponibilidad de aguas subterráneas.

Un documento de perspectiva de GWP tienen como objetivo impulsar el debate a dentro de la red y la comunidad hídrica y de desarrollo. Este documento fue escrito por Stephen Foster, asesor *Senior* de GWP, y por Tushaar Shah, miembro del Comité Técnico de GWP. La retroalimentación contribuirá a futuras publicaciones del Comité Técnico de GWP en temas relacionados.

GWP es una red global constituida por 13 Asociaciones Regionales para el Agua, 84 Asociaciones Nacionales para el Agua y más de 2,800 organizaciones miembro en 167 países.

Fue fundada en 1996 por el Banco Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (ASDI) para impulsar la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH).

La GIRH es el desarrollo y gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos asociados para maximizar el bienestar económico y social, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales y el medio ambiente.

La red está abierta a todas las organizaciones involucradas en la gestión de los recursos hídricos: instituciones de gobiernos de países desarrollados y en desarrollo, agencias de las Naciones Unidas, bancos de desarrollo bilaterales y multilaterales, asociaciones de profesionales, instituciones de investigación, organizaciones no gubernamentales y el sector privado.

Los documentos de perspectiva de GWP están disponibles en la Caja de Herramientas (ToolBox) de GIRH de GWP: www.gwptoolbox.org

Hacia una gestión integrada de aguas urbanas (2011)

Aumentar la seguridad hídrica - un imperativo para el desarrollo (2012)

Agua en la economía verde (2012)

©Global Water Partnership, 2013 (primera edición, 2012)

Se autoriza la publicación de fragmentos de este texto con fines educativos y otros fines no comerciales sin necesidad de pedir permiso a la Asociación Mundial para el Agua (GWP), siempre y cuando la fuente sea reconocida, mencionando el nombre completo del documento, y que los fragmentos no se utilice en un contexto engañoso. No se autoriza ningún uso de esta publicación con fines comerciales del tipo que fuere sin previo permiso escrito de GWP. Las opiniones expresadas en esta publicación no implican el aval de GWP.

¿DÓNDE ESTAMOS AHORA?

Patrones e impulsores del uso intensivo del agua subterránea

En los últimos 20-30 años, se ha presenciado un auge mundial en el uso de agua subterránea para riego en áreas sujetas a estaciones secas largas y/o sequías regulares en los últimos 20 o 30 años (Llamas, 2005). En India, por ejemplo, el área regada con agua subterránea ha aumentado 500% desde 1960 (Shah, 2009). Actualmente se dispone de datos estadísticos mundiales sobre riego con agua subterránea a partir de una encuesta de la ONU-FAO (Tabla 1). La agricultura de regadío es hoy el mayor extractor y consumidor de agua subterránea, estando casi el 40% de toda la tierra cultivada que se riega "equipada con agua de pozo"; con grandes agroeconomías dependientes del agua subterránea en el sur y este de Asia. Las naciones con las mayores áreas de uso de agua subterránea son India (39 Mha) y China (19 Mha).

Se tiene también muchos ejemplos importantes de riego a partir de aguas subterráneas a escala comercial en

sin planificación ni control. El auge del uso del agua subterránea que se ha dado en gran parte de Asia es inducido por factores de demanda, así como también de suministro (Shah, 1993). La presión de una población rural en crecimiento ha hecho del uso intensivo de la tierra un imperativo para los medios de vida de pequeños propietarios, y los pozos han permitido a los pequeños agricultores conseguir una segunda (e incluso una tercera) cosecha al año, e hicieron posible el riego más allá de los proyectos gubernamentales de riego por canal. Los pozos también han hecho más que los sistemas de riego con aguas superficiales para ayudar a esos agricultores a diversificarse hacia cultivos de valor más alto. Asimismo, varios otros factores desde el lado del suministro han estimulado el desarrollo:

- ayudas o préstamos baratos para financiar la construcción de pozos e infraestructura de riego
- apoyo para la compilación y difusión de conocimiento hidrogeológico acerca de la ocurrencia del agua subterránea y su potencial
- ciertos desarrollos en la evolución técnica de las bombas para pozos
- la generalización de la electrificación rural y en algunos casos el suministro de energía eléctrica para el bombeo altamente subvencionada

Tabla 1: Encuesta mundial de riego con agua subterránea (derivada de Siebert et al, 2010)

| REGIÓN | RIEGO CON AGUA SUBTERRÁNEA | | VOLUMEN DE AGUA SUBTERRÁNEA UTILIZADO | |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | Mha (millones de hectáreas) | proporción del total | km ³ /a | proporción del total |
| TOTAL GLOBAL | 112.9 | 38% | 545 | 43% |
| Sur de Asia | 48.3 | 57% | 262 | 57% |
| Asia Oriental | 19.3 | 29% | 57 | 34% |
| Sudeste Asiático | 1.0 | 5% | 3 | 6% |
| Oriente Medio y Norte de África | 12.9 | 43% | 87 | 44% |
| América Latina | 2.5 | 18% | 8 | 19% |
| África subsahariana | 0.4 | 6% | 2 | 7% |

Latinoamérica, Oriente Medio y el norte de África, lo que se ha vuelto una fuente vital de empleo local, producción nacional e ingresos por exportaciones para los países involucrados, como Brasil, Argentina, Perú, México, Marruecos y Egipto. Continúan a los ejemplos anteriores, partes de EEUU, Israel y España con agricultura de regadío comercial a gran escala por medio de recursos hídricos subterráneos.

Una gran proporción de la inversión en pozos para riego fue hecha individualmente por agricultores particulares,

Beneficios del uso de agua subterránea para la agricultura de regadío

El agua subterránea es una "mercancía muy popular" entre los agricultores (Shah et al, 2007) puesto que:

- normalmente se encuentra cerca del punto de uso (a menudo, la distancia es solo la profundidad del pozo)

EVOLUCIÓN Y LIMITACIONES DE LAS BOMBAS PARA POZOS

La evolución histórica de las bombas para pozos y de sus fuentes de energía se remonta a varios siglos, pero ciertos desarrollos fueron muy significativos en lo que se refiere a entender los motivos actuales del riego con aguas subterráneas:

- Desde los años cuarenta, introducción en EEUU (en California y Nebraska) de bombas a motor eléctrico o diesel, con eje, multietapas, centrífugas, capaces de producir grandes rendimientos para agricultura de regadío a escala comercial.
- Mejoras en las bombas sumergibles eléctricas en EEUU durante los 50s, que permitieron rendimientos adecuados para el riego por pivote.
- Grandes reducciones en el costo de bombas de mano y pequeñas bombas a motor eléctrico en India en los 80s, como parte del Decenio Internacional del Agua Potable y Saneamiento de la ONU, que fueron luego adaptados para riego de bajo costo con pozos poco profundos.

Los dos primeros facilitaron el uso de agua subterránea para riego comercial a escala mayor en todo el mundo, y el tercero permitió el auge del agua subterránea por todo el sur de Asia, ya que hizo posible que muy pequeños agricultores pusieran riego con agua de pozo, siguiendo al fracaso de muchos programas de gobierno para el acceso equitativo de agua subterránea empleando bombas de gran potencia y redes de tuberías subterráneas de los 60s, debido a una combinación de factores tecno-administrativos.

- puede obtenerse rápidamente y a bajo costo por inversión privada individual
- está directamente disponible a demanda para satisfacer las necesidades del cultivo (dada una fuente confiable de energía para el bombeo) y les permite a los pequeños agricultores un alto nivel de control durante todo el año
- es adecuado para el riego a presión y la agricultura de precisión de alta productividad
- ha "democratizado" el riego al permitir la agricultura de regadío fuera de las áreas abarcadas por canal

En las naciones en desarrollo y en transformación "el auge del riego con aguas subterráneas" ocurrió en diversos niveles económicos (Garduno y Foster, 2010)- desde aquellos de agricultura de subsistencia producción de cultivos básicos a gran escala y los comerciales. Ha llevado importantes beneficios socioeconómicos a las comunidades rurales y en muchos países han ayudado a



aliviar la pobreza agraria mediante el aumento de la seguridad alimentaria, al asegurar la disponibilidad de agua en los momentos críticos para el crecimiento de los cultivos y mitigando los devastadores efectos de las sequías en su rendimiento (Shah, 2009). En el sur de Asia el auge del agua subterránea también ha sido favorable a los pobres, en donde los pequeños agricultores con parcelas menores de 2 ha, han incrementado proporcionalmente hasta 3 veces las áreas regadas, que los agricultores con parcelas de más de 10 ha. Y un estudio en 8 países acerca del riego limitado a minifundios en África subsahariana, reveló que los pequeños agricultores son atraídos por el riego con agua subterránea porque facilita el cultivo comercial de hortalizas para los mercados urbanos.

Inquietudes acerca de la sostenibilidad del recurso

En la mayoría de las regiones que experimentan una estación seca extensa, el uso consuntivo de agua para la agricultura (si es irrestricto) genera normalmente para el riego de los cultivos una demanda excesiva con respecto a la disponibilidad de los recursos renovables del agua subterránea, dado que habitualmente extensas áreas de tierra cultivable se encuentran sobre los acuíferos. Además, el agua subterránea (un recurso de uso común y acceso abierto) también es propensa a "la tragedia de los bienes comunes", en la que los intereses individuales de corto plazo prevalecen sobre los intereses comunales de largo plazo y su gestión efectiva requiere acción colectiva (Ostrom, 1990; Burke & Moench, 2000; Foster et al, 2009). Esta situación ha conducido a un extenso agotamiento de los recursos de agua subterránea, con los siguientes efectos colaterales, que varían considerablemente en su incidencia e intensidad según la estructura hidrogeológica:

- competencia contraproducente entre usuarios del riego
- conflictos con la provisión de agua potable rural y/o urbana, dificultando el logro de los ODMs
- impactos sobre la descarga natural del acuífero (aporte de manantiales, flujo de cauce), que dan como resultado acumulativo un impacto inaceptable en los caudales superficiales aguas abajo
- degradación de importantes ecosistemas acuáticos dependientes del agua subterránea

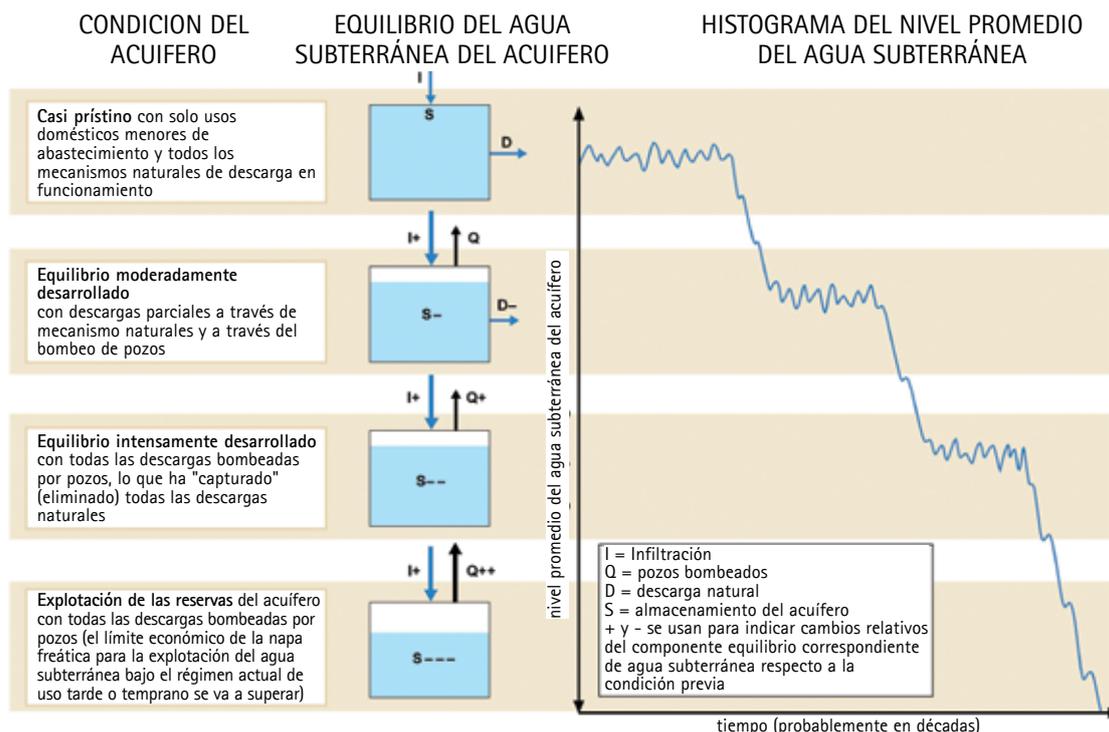
Los malentendidos conceptuales acerca de los recursos hídricos subterráneos tienden a ocurrir con bastante frecuencia y es necesario sustituir mitos por realidades (Garduno y Foster, 2010) a través de:

- una clara distinción entre "áreas de riego exclusivo con agua subterránea" y "áreas de riego de uso conjuntivo", ya que estas presentan prospectos, enfoques y desafíos muy diferentes para la optimización del recurso
- centrar los esfuerzos de gestión del recurso en limitar los usos consuntivos (en vez de hacerlo meramente sobre la extracción de agua subterránea), especialmente en áreas de riego exclusivo con agua subterránea
- evaluar la conectividad del agua subterránea con la superficial en ambientes aluviales, como base para aprovechar las oportunidades de "gerencia conjunta" a la vez que se evita el riesgo de llevar una doble contabilidad del recurso

EL CONCEPTO DE "SOBREEXPLOTACIÓN DEL RECURSO"

Es necesaria cierta discusión sobre este concepto, sin restringirse a la semántica. Es claro que toda extracción de agua subterránea tiene un "impacto", puesto que desvía/divierte flujos de un sitio a otro dentro un sistema acuífero y reduce la descarga natural. La pregunta verdadera es en qué punto tales impactos se hacen acumulativamente significativos (Figura 1). Puede parecer atractivo el uso de una definición económica (es decir, los costos de efectos frente a terceros, los impactos ambientales y la coyuntura de pérdida del recurso a más largo plazo superando los beneficios del uso a corto plazo) pero en la práctica es a menudo difícil evaluar los costos asociados. Además, esto no toma en consideración el tema "eficiencia versus equidad" dado que los sistemas de agua subterránea menos agotados favorecen un acceso mas equitativo para los menos favorecidos y a menudo protegen mejor los intereses ecológicos. Pero mantener depósitos de agua subterránea contra toda disminución raramente es lo apropiado, especialmente en regiones áridas donde (dada la larga periodicidad de los episodios de mayor recarga) el agua subterránea es crítica para mitigar los impactos de la sequía a nivel de agua superficial así como para dar el tiempo necesario que permita la transición hasta que evolucionen economías con menor uso hídrico.

Figura 1: Etapas del desarrollo del recurso de agua subterránea y sus impactos



En general, se necesitan mejoras en la contabilidad hidrogeológica para describir la relación detallada entre agua subterránea y riego, y los factores de los que dependen los diferentes componentes de la recarga. (Foster & Perry, 2010).

Peligros de una excesiva explotación del agua subterránea

El continuo agotamiento del agua subterránea resultado de la explotación excesiva del recurso a largo plazo puede en algunos casos resultar en otras consecuencias serias:

- salinización de acuíferos, que es un proceso muy insidioso y a menudo complejo que surge de una variedad de mecanismos físicos
- hundimiento problemático del terreno debido al asentamiento de los acuitardos intercalados en formaciones aluviales y/o lacustres

aumentando (vertiginosamente en algunos casos) los costos eléctricos del bombeo, especialmente donde el uso está "amortiguado" por subsidios o tarifas planas, con implicaciones serias para muchas compañías eléctricas, para la unidad promedio de consumo de energía y para la huella de carbono de la producción agrícola regada (Shah y Verma, 2008; Garduno y Foster, 2010).

El componente de mayor costo de la producción de agua subterránea (una vez que los pozos están construidos) es la energía requerida para elevar el agua, que dependerá del precio unitario de energía, de la profundidad de napa freática, de las características del acuífero y de la eficiencia de los pozos (que en algunas circunstancias hidrogeológicas puede decrecer dramáticamente si la napa freática a su vez declina). La asignación del precio a la electricidad rural podría por todo esto ser una herramienta muy útil para restringir la extracción de agua subterránea, pero paradójicamente a menudo se la usa en forma opuesta mediante importantes subsidios dirigidos a disminuir los costos agrícolas y reducir los diferenciales del precio del agua.

Enfrentando la dura realidad de los acuíferos de recarga débil

En áreas donde la media anual de lluvias es menor a 500 mm/a o similar, la tasa asociada de recarga difusa de agua subterránea en acuíferos poco profundos es

sensible al tipo de suelo y de cubierta vegetal, y puede caer notablemente a niveles muy bajos (Figura 2), a la vez que los acuíferos de una mayor profundidad puede que sean sólo recargados débilmente debido a su aislamiento físico de la estructura geológica respecto a la superficie del suelo.

EL DIAGNÓSTICO DE SALINIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En áreas importantes de riego agrícola la amenaza de salinización del agua subterránea varía ampliamente de acuerdo al perfil hidrogeológico global y al régimen climático, e incluso a lo largo de una misma cuenca en el caso de los grandes ríos. Surge a través de un número de mecanismos bien definidos e independientes:

- elevación de la napa freática debido a una excesiva infiltración de canal y/o la aplicación en el terreno en las áreas de cabeceras induciendo el anegamiento del terreno y la salinización freática, o a veces la simple movilización de aguas subterráneas poco profundas naturalmente salinas
- lixiviado de la salinidad del suelo a lo largo de las áreas regadas en una primera habilitación de terrenos áridos y/o por fraccionamiento de sal por riego "eficiente", con acumulación en las últimas secciones del canal si no hay movimientos de salida del agua subterránea
- intrusión costera lateral habitual o arrastre interior de agua subterránea salina debido a la excesiva extracción de agua dulce subterránea
- existen además áreas muy áridas en las cuales virtualmente toda el agua subterránea es naturalmente salina, excepto donde alguna infiltración desde los cursos de agua superficiales o de los canales de riego forman "lentes de agua dulce".

El corolario de esto es que la amenaza de salinización del agua subterránea exige diagnósticos claros, monitoreo estrecho y una gestión cuidadosa.

Mantener los depósitos de agua subterránea protegidos contra el agotamiento total, raramente es lo apropiado, especialmente en regiones áridas donde (dada la larga periodicidad de episodios de mayor recarga) el agua subterránea es crítica para mitigar los impactos de la sequía a nivel de agua superficial así como para dar el tiempo necesario que permita la transición hasta que evolucionen economías con menor uso hídrico. Pero en condiciones semejantes es igualmente importante enfrentar las implicaciones de los sistemas de agua



subterránea de recarga débil, con una mirada común de la administración pública y de usuarios privados del agua subterránea respecto a esta realidad (Foster & Loucks, 2006) a través de:

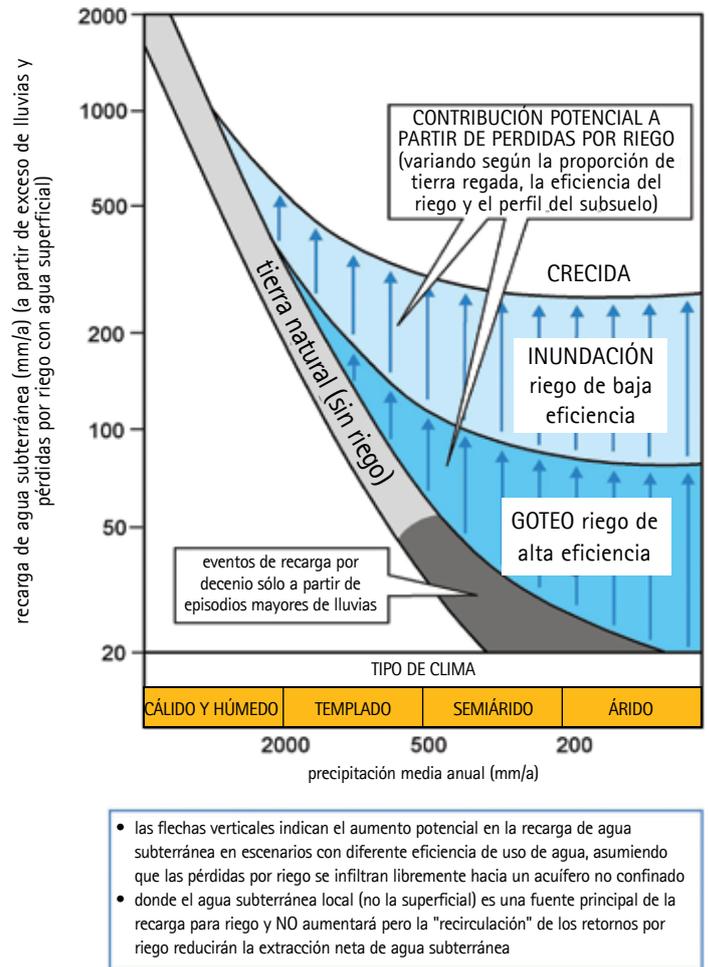
- hacer todo lo posible por asegurar alta productividad y eficiencia en el uso del recurso
- realizar cuidadosas mediciones de uso, con monitoreo continuo y evaluaciones periódicas de la respuesta del acuífero
- abordar el tema de equidad intergeneracional invirtiendo en "estrategias de salida" implementables, como la transferencia de agua superficial y/o actividades de bajo uso de agua.

El impacto de la calidad del agua subterránea en la agricultura de regadío

Las prácticas agrícolas de uso de la tierra por lo general ejercen también una gran influencia en la calidad del agua de recarga del agua subterránea (Foster et al, 2000; Foster & Candela, 2008) a través de:

- lixiviado de los nutrientes del terreno: este problema se ha extendido excepcionalmente en las naciones industrializadas con intentos (mayormente exitosos) de aumentar la producción de granos, semillas oleaginosas, hortalizas, frutas y leche por unidad de superficie mediante el reemplazo de la rotación de cultivos tradicional con casi monocultivos, pero hasta el presente ha sido menos severo en el mundo en desarrollo donde las aplicaciones de fertilizantes

Figura 2: Relación general entre la recarga del agua subterránea y la lluvia anual, indicando la contribución potencial para los retornos de riego con aguas superficiales



inorgánicos han sido por lo general muy inferiores; en teoría el problema del lixiviado de nutrientes del terreno debería ser más manejable en la agricultura de regadío que en la de secano.

- contaminación con pesticidas: un problema potencialmente serio pero más bien confinado geográficamente a las áreas de recarga de los acuíferos que exhiban una alta vulnerabilidad a la contaminación superficial, donde los pesticidas más "móviles" (principalmente ciertos herbicidas e insecticidas de suelo) han sido empleados con altas tasas de aplicación.
- movilización de salinidad: este es un problema muy serio en las áreas áridas y muy áridas en las que "la frontera de riego" ha sido (o está siendo) extendida a costa de la tala de los matorrales nativos en desiertos con altos niveles de salinidad retenida en el perfil del subsuelo.



Foto: CC por Ishave en Flickr

¿CÓMO PODEMOS MEJORAR LA SOSTENIBILIDAD?

En las áreas de riego "solo con agua subterránea"

Enfoque pragmático para intervenciones de gestión

Un paradigma fundamental que emerge de la experiencia reciente es que el perfil hidrogeológico y socioeconómico de los acuíferos individuales que sostienen el desarrollo agrícola de regadío con agua subterránea es lo que habitualmente define por un lado el problema mismo de la gestión del agua subterránea pero también restringe la solución más probable. Un enfoque de "talla única" para la gestión del recurso hídrico subterráneo es sencillamente inadecuado (Garduno y Foster, 2010), y es necesario hacer, a la medida, un paquete de medidas de gestión para el perfil hidrogeológico y socioeconómico local. Además, los recursos hídricos subterráneos también requieren un "enfoque de gestión adaptativo", en el que se toman decisiones provisionales y medidas basándose en la mejor evidencia científica disponible, con el subsiguiente monitoreo de las respuestas del acuífero y los resultados sociales, y con ajustes periódicos del enfoque de gestión según sea necesario.

En lo que se refiere a la implementación de planes de acción para la gestión del agua subterránea, será

necesaria prestar mucha atención para lograr "arreglos institucionales" (Figura 4):

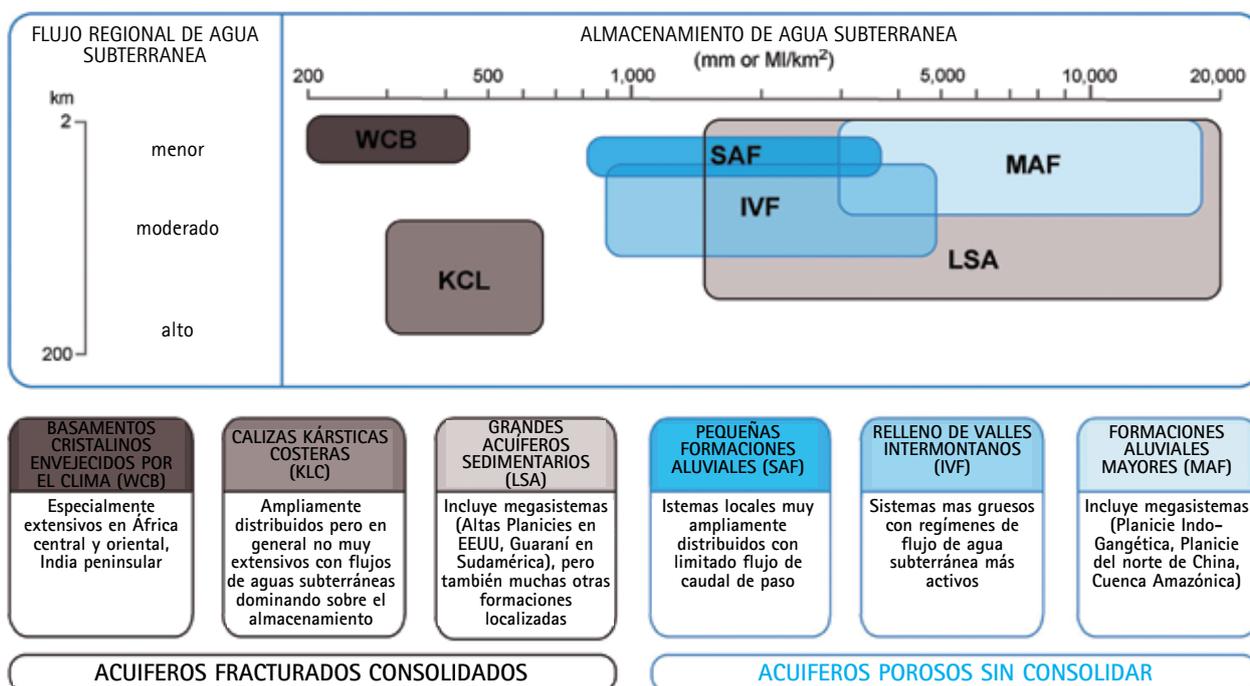
- aumento de la conciencia, participación y autorregulación comunitaria
- gestión del recurso mediante la regulación y cobro por el uso
- intervenciones mediante macro-políticas para restringir la demanda de agua subterránea

Además, se requiere del "empuje" de una agencia fuerte de base local, junto al "tirón" del gobierno nacional a través de una facilitación sensible, y debe acordarse un plan claramente ordenado y bien presupuestado, que les pertenezca a todos los actores principales involucrados.

LA GRAN VARIABILIDAD NATURAL DE LOS SISTEMAS ACUÍFEROS

Los acuíferos tienen dos características fundamentales: la capacidad de almacenar agua subterránea y la capacidad de hacer circular el agua subterránea. Pero las diferentes formaciones geológicas que se comportan como acuíferos varían muy ampliamente en el grado en los que exhiben estas propiedades (Figura 3), con capacidades de almacenamiento drenable que van desde cantidades muy modestas (< 500 MI/km²) a volúmenes vastos (> 10.000 MI/km²). Además, su extensión en área varía también grandemente según la estructura geológica (de < 10 km² a > 10.000 km²) así como la escala de los regímenes de flujo de agua subterránea. Tal "diversidad hidrogeológica" tiene implicancias de largo alcance cuando se trata de considerar enfoques realistas para la gestión del recurso.

Figura 3: Variación en el almacenamiento típico de aguas subterráneas y en los regímenes de flujo según el tipo de acuífero



La efectividad en la implementación del plan debería monitorearse a largo plazo, y afinarse como sea necesario.

Identificando medidas apropiadas de gestión

Las mejoras en la "eficiencia en el uso de agua para riego" pueden ser la clave para aumentar la productividad del agua y reducir el consumo de unidades de energía en la agricultura. También pueden ser un componente útil de los planes de acción para la gestión del agua subterránea, pero necesariamente equivalen a "ahorros reales del recurso agua" (Foster & Perry, 2010), porque una proporción sustancial de las llamadas "pérdidas" asociadas con el "riego ineficiente con agua subterránea" a menudo se infiltra y retorna al acuífero. Además, los cambios progresivos de riego gravitacional (por inundación) hacia riego presurizado (por goteo) inevitablemente resultan en un incremento sustancial en el uso consuntivo del agua subterránea, incluso si la extracción real está topeada exitosamente.

Donde se ha hecho un esfuerzo concertado para reducir las pérdidas por evaporación infructífera se ha conseguido hacer ahorros verdaderamente significativos del recurso agua, por ejemplo de hasta 30 mm/a en el Condado de Guantao en China (Garduno y Foster, 2010) para rotaciones de trigo invernal y maíz en verano recibiendo un riego total de 400-460 mm/a.

Un ejemplo extremo del efecto de cambios en la gestión de la tierra para la agricultura de regadío sobre las tasas de recarga del agua subterránea (y entonces en la disponibilidad y calidad del recurso) ocurre con el abandono de la práctica tradicional de riego por crecida en las laderas de montañas, donde los campos son deliberadamente inundados en la estación de lluvias



Figura 4: Marco prágmatco para la identificación de un enfoque equilibrado en la gestión del recurso hídrico subterráneo en acuíferos excesivamente explotados



para inducir la infiltración y aumentar la recarga del acuífero en la estación seca. Esto ha ocurrido extensivamente, por ejemplo, en el Valle de Ica en Perú con la introducción de cultivo intensivo de espárrago (Garduno y Foster, 2010). Mientras que pueden haber razones cardinales para esto (la práctica no es fácilmente compatible con el riego moderno por presión), si se toma tal decisión será necesario introducir métodos alternativos para asegurar la recarga del agua subterránea a partir de las escorrentías de la inundación.

Al tratar de utilizar mejoras en la tecnología del riego para la gestión del agua subterránea, es imprescindible combinar lo siguiente (Foster & Perry, 2010) con:

- una comprensión detallada del equilibrio entre agua y tierra
- medidas para reducir los derechos de uso del agua subterránea conformes con el uso consuntivo
- previsiones para controlar (y probablemente reducir) el área total regada.

También habrá que movilizar recursos financieros promover la recarga del agua subterránea, puesto que ello puede proveer un foco inicial para la participación comunitaria. Bajo las condiciones hidrogeológicas favorables, como fue el caso en Hivre Bazaar (Maharashtra) en India (Garduno y Foster, 2010) y en

áreas mayores de Saurashtra-Gujarat (Shah, 2009), tales medidas pueden proveer un incremento significativo en la disponibilidad local del recurso y ser asimismo la clave para movilizar a la comunidad regante local en un esfuerzo común de gestión paralela de la demanda. Sin embargo, mientras que debiera alentarse la cosecha de agua de lluvia y la promoción de la recarga adecuada a las condiciones locales, no representan por lo general la solución para el desequilibrio del recurso del agua subterránea y su procura por sí sola puede dar meramente como resultado un aumento de la demanda del agua subterránea. Además, el efecto volumétrico de unas prácticas de uso agrícola de la tierra "amigable con el agua subterránea" es en general más significativa (porque están involucradas superficies de tierra mucho mayores).

El enfoque más directo para reducir la demanda de agua subterránea para el riego (y el uso consuntivo) es restringir la extracción y efectuar una reducción en el área regada. Sin embargo, sin acciones concomitantes para sostener los ingresos de los agricultores, aumentando la productividad en el uso de agua mediante una mejora en los rendimientos de los cultivos o cultivos de valor superior, una política semejante puede resultar ser muy difícil de implementar y sostener.

Participación comunitaria y autorregulación

Un grado de participación comunitaria de las partes interesadas de la misma es esencial para la gestión de los recursos hídricos subterráneos, dado el número frecuentemente muy alto de usuarios individuales del agua subterránea involucrados (Burke y Moench, 2000; Shah, 2009), sin importar si se emplean también otros instrumentos reguladores y económicos. Esta participación puede adoptar muchas formas y tener lugar en diversos niveles territoriales que van desde aldeas a sistema de acuífero o incluso a nivel de cuenca fluvial y debería ser nutrida cabalmente como una importante contribución para la conservación de agua subterránea, su gestión y protección; de otra manera su efectividad puede verse muy reducida. Este es el caso de muchos de las COTAS pioneros en Guanajuato-México (Garduno y Foster, 2010).

Es deseable que la participación activa de los usuarios en la gestión del recurso hídricos subterráneos se promueva, en la que los usuarios ejerzan presión en un nivel de paridad para el logro de metas de gestión y colaboren entre sí a través de la provisión de datos referentes al uso y niveles del pozo (Garduno y Foster, 2010). Esto puede conseguirse a través de:

- asociaciones de gestión del acuífero (como en México, antes mencionado)
- algún tipo de pacto entre los usuarios locales y los reguladores del recurso (por ejemplo, como en la Agencia de la Cuenca del Río Sousse, Marruecos)

La autorregulación comunitaria de los recursos del agua subterránea (como ha sido exitosamente iniciado en algunas partes de India, por ejemplo en Hivre Bazaar (Maharashtra) y en un número considerable de micro cuencas en el Estado Andhra Pradesh (Shah, 2009; Garduno y Foster, 2010) es un paso más allá, y se puede lograr bajo ciertas condiciones hidrogeológicas y circunstancias socioeconómicas, a saber, pequeños cuerpos localizados de agua subterránea explotados por un grupo socialmente homogéneo de usuarios. Pero incluso aquí las agencias locales del recurso hídrico



subterráneo tienen un papel a jugar como "faro" permanente en apoyo de la sostenibilidad de la acción comunitaria y su eventual réplica en áreas similares bajo su misma jurisdicción. En ausencia de tal tipo de apoyo externo permanente, la gestión comunitaria del recurso tiende a debilitarse y con el tiempo marchitarse, como mostró la experiencia en Andhra Pradesh un par de años después de que el apoyo del proyecto donante fuera discontinuado.

Regulación del uso y cobro del agua subterránea

Generalmente se requiere algún elemento de regulación del uso de agua subterránea (incluyendo, donde las circunstancias lo exijan, la prohibición de la construcción de nuevos pozos y topear la extracción de

los ya existentes) siempre y cuando el número de usuarios individuales no sea tal que agobie a la agencia local del recurso hídrico con una tarea administrativa imposible en relación a su capacidad. Su introducción puede ser fácilmente justificada donde los recursos hídricos subterráneos sean susceptibles a una degradación irreversible y/o haya competencia contraproducente entre usuarios regantes individuales o entre ellos y el proveedor público de agua.

El instrumento regulador debería tener algunos de los siguientes elementos:

- derechos o licencias individuales de uso de pozo, ya sea a una tasa determinada o como una parte asignada, sujeto a revisión periódica y ajustes a la luz del comportamiento del acuífero (evitando el concepto de "derechos a perpetuidad")
- derechos de uso del agua subterránea o licencias coordinados con permisos para cualquier uso del agua superficial, y evitando llevar "doble contabilidad del recurso"
- un conjunto de licencias para usuarios menores donde existan asociaciones comunitarias adecuadas, para facilitar la gestión de los recursos hídricos
- restricciones espaciales respecto a la transferibilidad de derechos de pozo (para zonas determinadas del cuerpo de agua subterránea o del sistema acuífero) y con respecto a los tipos de uso

- disposición para sancionar perforaciones de pozos y extracción ilegales.

Los recursos hídricos subterráneos tienden a ser subvalorados, especialmente donde su explotación no es controlada: cuando el explotador del recurso recibe (efectivamente) los beneficios del uso del agua subterránea pero paga (a lo sumo) sólo parte de los costos; esta infravaloración a menudo conduce a un uso económicamente ineficiente del recurso (Figura 5).

Cobrar tasas por la extracción del recurso hídrico subterráneo es el método más directo para asegurar que exista un incentivo para economizar en su uso. Así los usuarios pagan una "tasa (o activo) de extracción del recurso" basada en el uso volumétrico (este modo métrico es preferible a la mera autorización) aunque normalmente es práctico eximir a los pequeños usuarios domésticos que se autoabastecen.

Desafortunadamente, el uso agrícola todavía raramente se mide, y por ello el control del uso para riego no es tan directo como lo es para la industria o el comercio. Existen técnicas alternativas que están siendo utilizadas para estimar usos o extracción real, e incluyen:

- estimación de volumen bombeado a partir del consumo de electricidad rural
- estimación de volumen extraído a partir de la capacidad de la bomba y las horas reconocidas
- valoración del consumo real por tipo del cultivo y área cultivada



Los enfoques reguladores para el agua subterránea necesitan un sólido inventario de posiciones de los pozos, las instalaciones de las bombas, medidores de la electricidad y áreas irrigadas. Tal información puede ser generada en parte por imágenes satelitales y gestionada mediante un SIG, y existe un número creciente de ejemplos de buena práctica a este respecto (como componente esencial de un sistema sólidamente basado de administración del recurso hídrico subterráneo) que pueden ser encontrados por todo el mundo; por ejemplo en Mendoza, Argentina, y en la Meseta Apodi, Brasil (Garduno y Foster, 2010).

Se argumenta algunas veces que un "enfoque regulador" para la gestión del recurso hídrico subterráneo en regiones de escasez hídrica está a menudo abierto a la corrupción, cuando los recursos se hacen escasos y son

Figura 5: Componentes con costo económico del agua subterránea y aquellos normalmente pagados por los usuarios

| | | Costo del suministro de agua | | | Costo de las oportunidades sociales | Costos externos | |
|--|---------------------|--|--|---|--------------------------------------|---|--|
| COSTOS DE LA EXTRACCION DEL AGUA SUBTERRANEA | ECONOMIA COMPLETA | COSTO DE CAPITAL | | COSTOS (O&M) DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | Cargos de administración del recurso | VALORES PERDIDOS DE USOS ALTERNATIVOS (presente/futuro) | VALOR IN SITU (costo de instrusión salina, hundimiento del terreno, amortiguación de sequías, etc) |
| | PAGADO POR USUARIOS | COSTO DE CAPITAL (a veces subsidiados) | COSTOS O&M (energía a menudo subsidiada) | Cargos de administración del recurso * | | | |

* con frecuencia no recaudados o no cubren los costos reales

PAPEL Y ALCANCE DE LOS "MERCADOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA"

El comercio de permisos de uso o de asignaciones puede facilitar la transferencia del agua subterránea hacia usos de valor superior, en situaciones de "extracción total limitada", de un modo aceptable para todas las partes. El establecimiento resultante de un "mercado de aguas subterráneas" se refiere al comercio de mercado de los derechos de uso o asignaciones (y no a la venta del suministro de agua a granel o la transferencia de tales derechos en el momento de venta de la propiedad y traspaso de la escritura de la tierra). En años recientes han sido exitosamente promocionados en Victoria y Nueva Gales del Sur, Australia, pero una iniciativa muy anterior en los valles del centro y norte de Chile se encontró con problemas prácticos significativos. Un enfoque gradual es esencial: en primer lugar disponer de medidas de uso adecuado, establecer y definir los derechos de y los mecanismos de participación de los usuarios del agua. Una vez que esto se ha logrado, una licencia o asignación de agua subterránea, completa o parcial, se hace negociable, temporal o permanentemente, no como sustituto de la regulación del recurso, sino como un complemento que ofrece beneficios socioeconómicos adicionales.

limitados. Un "sistema de información y comunicación pública" efectivo debería por lo tanto ser simultáneamente puesto a punto de modo de contrabalancear cualquier manifestación de esa tendencia.

Alignment of food and energy macro-policies

Puesto que la agricultura de regadío es claramente el consumidor predominante de los recursos hídricos subterráneos en varios países, mejorar el alineamiento de las políticas relacionadas de alimentación y energía con objetivos de gestión sostenibles del agua subterránea facilita los esfuerzos de gestión local. Por ejemplo, eliminar los subsidios o los precios de garantía para la producción de cultivos que requieren grandes cantidades de agua (como los arrozales o la caña de azúcar) en áreas escasas de agua será de gran ayuda para la gestión del recurso. Otras importantes intervenciones en políticas que pueden, en algunos casos, ser consideradas a nivel de gobierno nacional o provincial incluyen:

- ejercer control sobre la fecha de transplante en los arrozales para reducir la evaporación improductiva

(un ejemplo alentador de esto es el aplazamiento estatutario del transplante del arroz por 35-40 días en el Punjab Indio desde 2008, que parece capaz de hacer un verdadero ahorro del recurso hídrico de 90 mm/a sin impacto negativo en los rendimientos del cultivo (Garduno y Foster, 2010)

- eliminar el riego con agua subterránea para la producción de alimento para animales (típicamente alfalfa y/o maíz) de regiones áridas usando los escasos recursos del agua subterránea.

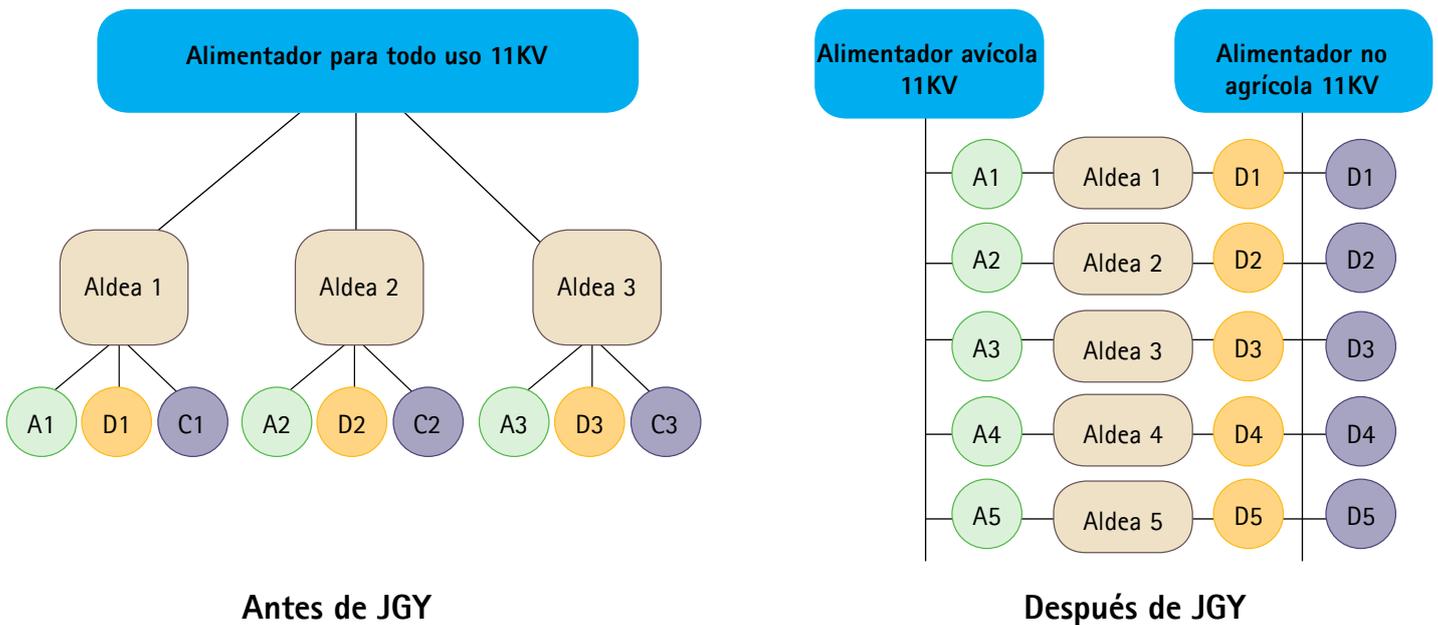
Aunque los subsidios para la energía eléctrica rural a veces pueden estar políticamente justificados hay que reconocer que:

- las tarifas planas rurales para electricidad son perversas, ya que generan que los agricultores queden aislados del estatus del recurso hídrico subterráneo y de las ineficiencias de los pozos, así como también de la unidad de consumo de energía (kWh/ha) de la producción de cultivos
- mientras que es legítimo apoyar a los agricultores pobres para que mejoren su medio de vida, son preferibles los subsidios dirigidos a cubrir parte de su cuenta estimada de energía, ya que incorporan un incentivo para usar el agua más eficientemente.

En India la insostenibilidad del recurso hídrico subterráneo es en parte considerable una consecuencia de los perversos subsidios eléctricos para el riego con pozos. Desde los 70s muchos gobiernos estatales (procurando alcanzar seguridad alimentaria y de medios de subsistencia) empezaron a ofrecer subsidios, algunos incluso abasteciendo de energía eléctrica gratuita con excepción de un "cargo fijo por conexión". En las áreas con electrificación rural esto produjo la generalización de un rápido declive de las napas de agua subterránea, sin incentivo alguno para reducir su empleo incluso donde el verdadero costo de bombeo se había disparado. La progresiva eliminación de tales subsidios es necesaria para hacer sostenible el riego con agua subterránea, y para evitar colapsos técnicos y financieros de los servicios públicos de electricidad, pero ahora esto se ha convertido en un desafío político mayor.

Una solución ha sido exitosamente puesta a prueba en Gujarat (Shah y Verma, 2008): implicó un nuevo cableado del sistema rural de distribución de electricidad, separando la energía empleada por los pozos de todos los demás usuarios (Figura 6), y luego el efectivo "racionamiento" del suministro para regantes con pozos. Ha tenido tres resultados positivos: limitó el

Figura 6: Transformación de la red rural de suministro eléctrico en Gujurat-India (esquema JGY) para permitir el control del uso de pozos para el riego



retiro agregado de agua subterránea, controló las pérdidas en los servicios públicos de electricidad y mejoró el suministro eléctrico de las aldeas. Asimismo, les ha dado a los gestores del agua subterránea la opción de restringir la economía del riego con agua subterránea según la disponibilidad del recurso (Shah et al, 2012). Este enfoque podría ser especialmente apropiado para todas las áreas de acuíferos de roca erosionada, cuya producción de agua subterránea poco profunda se caracteriza por un consumo de energía en rápido incremento y excesivo; pero asimismo se deben tomar paralelamente otras acciones para impedir prácticas corruptas, proteger a los agricultores pobres y limitar el uso de fuentes alternativas de energía.

Uso conjuntivo en los canales aluviales comando principales

Uso conjuntivo espontáneo por agricultores

La perforación espontánea y sin planificación de pozos por parte de agricultores dentro y alrededor de los principales canales comando de riego en los sistemas de acuíferos aluviales, (Shah, 2009; Foster y Steenbergen, 2011) ha ocurrido muy ampliamente como estrategia para hacer frente a niveles inadecuados de servicio de aguas para riego consecuencia de:

- el escaso mantenimiento del canal e incapacidad para sostener los caudales de diseño
- la mala administración del agua del canal,

- permitiendo tomas no autorizadas o excesivas
 - insuficiente disponibilidad de agua superficial para su desvío en la estación seca
 - horarios rígidos de entrega de agua de canal, inflexibles a las necesidades de los cultivos
- La tasa de crecimiento de este fenómeno es notable, especialmente a través de la llanura Indogangética (Tabla 2).



Tabla 2: Evolución del uso espontáneo conjuntivo del agua subterránea en la llanura Gangética del Estado Uttar Pradesh, India

| AÑO | POZOS PERFORADOS PARA RIEGO PRIVADO | AREA REGADA | |
|---------|-------------------------------------|-------------|---------------------------------|
| | | TOTAL (Mha) | PROPORCIÓN POR POZOS PERFORADOS |
| 1950-51 | ----- | 3.04 | 16% |
| 1960-61 | 5,040 | 4,16 | 34% |
| 1980-81 | 465,970 | 8.80 | 29% |
| 2000-01 | 573,050 | 11.87 | 33% |

En efecto, el uso conjuntivo del agua subterránea y el agua superficial, en alguna forma u otra y con grados variables de efectividad, es capaz de lograr:

- mayor seguridad en el abastecimiento de agua, aprovechando el almacenamiento natural del acuífero
- mayor rendimiento neto de abastecimiento de agua del que generalmente es posible con una fuente única
- mejores tiempos para el suministro de agua de riego, ya que el agua subterránea puede emplearse rápidamente para compensar los déficits de agua de canal en momentos críticos del ciclo de crecimiento de los cultivos
- impacto ambiental reducido, al contrarrestar el anegamiento del terreno y la salinización

Vale también la pena hacer notar que el uso privado de agua subterránea se caracteriza a menudo por una productividad superior (beneficio medido en kg de cultivo o USD por ha/m³), a pesar (o quizá a causa) de que es un hecho que el costo unitario de este abastecimiento de agua es mucho más alto para el usuario (Foster y Steenbergen, 2011).

En muchos casos una proporción sustancial del abastecimiento total de agua es provista por pozos. Es una práctica muy sólida usar el almacenamiento natural del acuífero para moderar la variabilidad temporal y espacial en la disponibilidad del agua de canal para el riego, pero cuando se hace sin control a veces resulta localmente en el agotamiento del acuífero hasta niveles de napa freática lo que complica el uso de bombas elevadoras baratas (a nivel de suelo) para el riego. El uso conjuntivo espontáneo algunas veces se topa con una salinidad creciente en el agua subterránea que, en caso de no ser adecuadamente diagnosticada y controlada, dará luego como resultado una seria disminución en la productividad agrícola y una amenaza para la seguridad en el abastecimiento de agua potable.

Las oportunidades para gerencia conjuntiva

Si el uso conjuntivo puede ser suscitado de una forma más controlada, ofrece una gran oportunidad para aumentar la producción agrícola (a través de mejoras en la intensidad global de cultivo y en la productividad del agua de riego) sin comprometer la sostenibilidad del uso del agua subterránea (Foster y Steenbergen, 2011). El uso conjuntivo planificado del agua subterránea y el agua superficial para la agricultura de regadío es asimismo una estrategia de adaptación realista para el cambio climático acelerado.

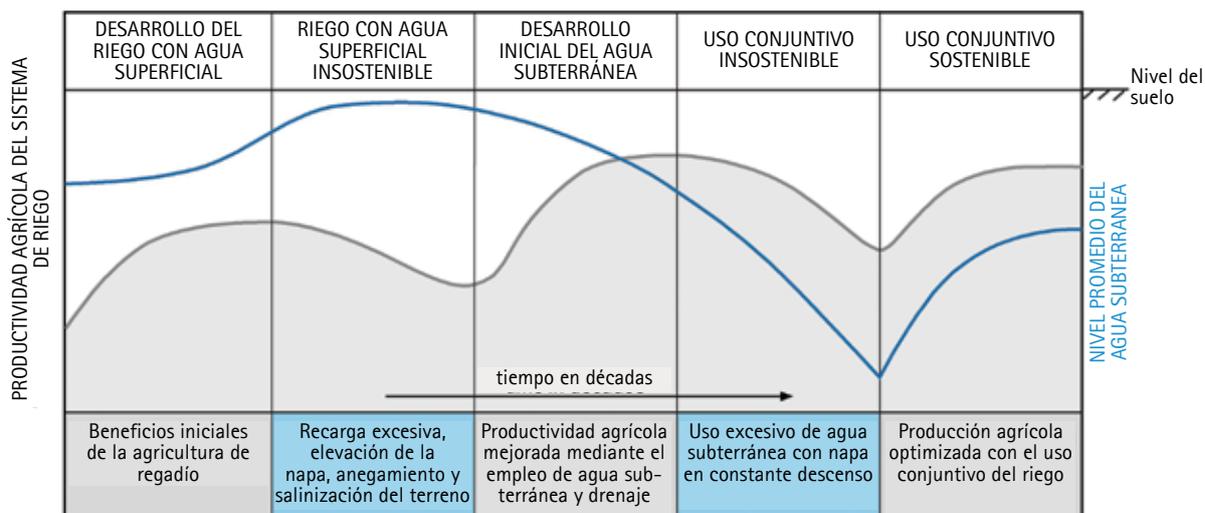
Un buen ejemplo de los beneficios del uso conjuntivo y los desafíos de una gestión conjuntiva optimizada nos llega de Uttar Pradesh, India, donde el canal de comando Jaunpur Branch ha sido objeto de una evaluación detallada (Garduno y Foster, 2010): la distribución mejorada del agua de canal para riego y el uso de pozos perforados para el riego (además de algo de tierra salina reclamada) son sosteniblemente capaces de aumentar la intensidad de cosecha de la rotación "trigo rabi/arroz karif" de 1,4 a 2,2 si los considerables impedimentos institucionales, sociales y económicos son subsanados.

El criterio clave es encontrar un equilibrio para el uso global del agua subterránea que evite el descenso a largo plazo de la napa freática a la vez que enfrenta el ascenso de la napa freática, la amenaza de anegamiento y salinización del terreno (Figura 7). Una comprensión sólida de las relaciones (naturales y también perturbadas por la actividad del riego) del agua subterránea con la superficial, junto con el carácter y la distribución de cualquier riesgo de salinización del agua subterránea, es un prerequisite.

En este contexto, el revestimiento de los canales de riego primarios y/o los secundarios es una prioridad alta:

- en llanuras aluviales áridas donde el acuífero freático es naturalmente salino (con las reservas

Figura 7: Evolución del uso conjuntivo espontáneo a la gestión conjunta del agua subterránea y los recursos de aguas superficiales en los principales sistemas acuíferos aluviales.



dulces de agua subterránea confinada a gran profundidad), ya que la filtración del canal aquí representa una pérdida irrecuperable contribuyendo a la elevación de la napa freática y a la salinización del suelo

- en llanuras aluviales húmedas con napa freática ascendente y un sistema de agua subterránea poco profunda, ya que aquí la filtración excesiva del canal también estará contribuyendo al anegamiento del terreno y salinización secundaria asociada.

En contraste, en terrazas aluviales altamente permeables y en penillanuras (especialmente en áreas más áridas) los sistemas de canales secundarios y terciarios a menudo llevan agua durante relativamente pocos días al año, y la mayor parte de los usuarios del riego dependen completamente de los pozos, pero siendo la filtración de los canales responsable de gran parte de la recarga de los acuíferos. Esto es claramente el caso en gran parte Punjab de la India y Pakistan (Garduno y Foster, 2010). Un corolario importante es que cualquier intento de revestir estos canales para "ahorrar agua" para usarla también en otras áreas puede resultar muy perjudicial para los usuarios ya existentes. Sin embargo, la implementación de una gestión conjunta afronta impedimentos significativos, que tienen que ser superados. Son primordialmente de carácter institucional, dado que las organizaciones provinciales de gobierno a menudo simplemente reflejan las realidades actuales del uso del agua y tienden a perpetuar el estado de cosas, en lugar de brindar una

estructura que habilite la promoción de la gestión conjunta.

El Punjab Pakistán provee un buen ejemplo de evolución hacia el uso conjuntivo planificado del agua subterránea.

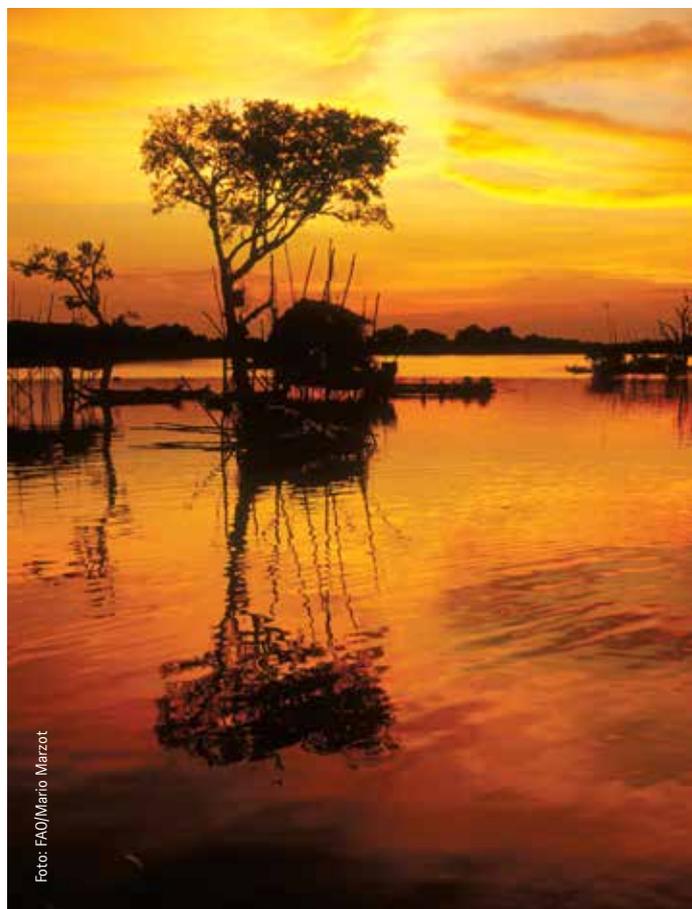


Foto: FAO/Mario Marzot

Inicialmente el gobierno estatal construyó unos 10.000 pozos para enfrentar problemas de anegamiento del terreno y salinización en las áreas aluviales de comando de los principales canales aluviales comando de riego, haciendo descender la napa freática. El éxito de esta empresa, además del hecho de que concomitantemente proveyera una nueva y confiable fuente de abastecimiento de agua para riego condujo a un auge en la construcción privada de pozos, tanto es así que el acuífero aluvial actualmente da muestras de estar padeciendo extracción excesiva en algunas áreas.

¿CUÁL ES LA PERSPECTIVA A FUTURO?

La siempre creciente utilización de agua subterránea para el riego durante los pasados 20 o 30 años, y la emergente evidencia de una explotación excesiva extendida, todavía no representan una "crisis global del recurso", pero los problemas de la sostenibilidad aún necesitan ser tratados urgentemente. En muchas áreas el agua subterránea almacenada naturalmente en los acuíferos es capaz de "amortiguar" la sobreexplotación por muchos años y dar tiempo para las transformaciones agroeconómicas, si se usa con inteligencia.

El impacto del cambio climático en el reabastecimiento del agua subterránea (y en la sostenibilidad del recurso a largo plazo) sigue siendo incierto, y requiere de monitoreo y análisis más detallados antes que puedan hacerse predicciones confiables. Pero es claro que las reservas de agua subterránea almacenadas serán un elemento crítico en la adaptación al cambio climático para enfrentar sequías más frecuentes y extendidas.

Dada la gran dependencia generalizada del agua subterránea para la agricultura de regadío, y las muy grandes inversiones privadas y públicas en la agricultura de regadío, existe una necesidad apremiante para que se correspondan las inversiones con un fortalecimiento de la gobernanza del agua subterránea (incluyendo capacidad institucional y formulación de políticas) y de la gestión integrada (incluyendo el uso de mediciones, administración y monitoreo del recurso, y concientización y participación de los usuarios).

En la mayoría de naciones en desarrollo, la contabilidad del recurso del agua subterránea en las áreas de agricultura de regadío sigue siendo bastante endeble.

GIRH: EL RETO DE "INTEGRAR" AL AGUA SUBTERRÁNEA

La movilización para mejorar la gestión y protección del agua subterránea necesita ser multidisciplinaria, fuertemente participativa y tender puentes entre los sectores, y es por lo tanto y a primera vista quintaesencialmente parte del proceso de GIRH (Foster y Ait-Kadi, 2012). La visión integrada y la acción coordinada en la interfase agua subterránea - agricultura son especialmente críticas. Sin embargo, para que el agua subterránea esté completamente "integrada" algunos retos significativos tienen que subsanarse:

- los "cuerpos de agua subterránea" forman el marco espacial apropiado para la gestión del agua subterránea, pero estos tienen que "reconciliarse" con las cuencas fluviales (la unidad espacial para la aplicación de la GIRH)
- la descentralización de la administración de los recursos hídricos para la promoción de la GIRH a veces puede propagar *expertise* hidrogeológica (que no abunda) de forma demasiado tenue y es necesario conservar "la masa crítica profesional"
- los gestores hídricos de nivel más alto que ponen en práctica los principios de la GIRH necesitan una comprensión mucho mayor de las escalas, dinámica y vulnerabilidades del agua subterránea.

Este problema tiene varios aspectos:

- poco impulso para mediciones generalizadas de las extracciones mayores y es así que existen inevitables incertidumbres sobre el uso del recurso
- diálogo y comprensión recíproca restringidos entre los agrónomos e hidrólogos acerca de los equilibrios suelo-agua para el cultivo regado en suelos permeables y acerca de la filtración desde las redes de canales de riego respecto a la recarga del acuífero.

Estas debilidades necesitan remediarse para facilitar un fundamento técnico más sólido para los planes de acción futuros de la gestión del agua subterránea.

La "socialización" del uso responsable a largo plazo del recurso del agua subterránea a través de la movilización de los usuarios en la gestión es un prerequisite crítico para el riego sostenible con agua subterránea. Pero la autorregulación comunitaria sólo tiene probabilidad de ser suficiente por sí misma en el caso de uso de subsistencia en sistemas de agua subterránea altamente



localizados y de bajo almacenamiento; y en la mayoría de los casos la participación de las partes interesadas tiene que ser incorporada dentro de un paquete equilibrado de diversos enfoques en la gestión del recurso.

Aumentar los ingresos agrícolas de las áreas regadas más pequeñas es una opción atractiva en la búsqueda de la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo; y la demanda creciente de riego de precisión mediante sistemas presurizados ofrece una plataforma adaptable para la conversión hacia cultivos intensivos de valor superior. Ahora bien, si esta es una tendencia que sigue un "camino sostenible" dependerá del nivel de detalle en la gestión del agua de regadío, así como si se persigue conseguir "ahorros reales de los recursos hídricos" y si las licencias de uso y asignaciones de agua subterránea son topeadas o reducidas en términos de uso consuntivo.

Habrà, sin embargo, límites inevitables relativos a los mercados y definidos por los riesgos en el alcance para la conversión hacia cultivos de valor superior, y es muy probable que la producción de los cultivos esenciales siga siendo un componente muy importante del riego con agua subterránea en algunas naciones en desarrollo. En la mayoría de los casos existe una gran necesidad de

aumentar los rendimientos de los cultivos mediante la mejora de la gestión de suelos, de la densidad de semillas y el tipo, del uso de fertilizantes y pesticidas para eliminar las limitaciones en los nutrientes o los impactos de las plagas en el crecimiento de los cultivos, pero esto tendrá impactos sobre la recarga de agua subterránea tanto por el aumento del su uso consuntivo por unidad de área como por el lixiviado de nutrientes y/o pesticidas. Es necesario que estos impactos se evalúen cuidadosamente, y que se hagan esfuerzos para minimizarlos.

La situación podría complicarse más con las estrategias nacionales de estímulo del cultivo de biocombustibles (caña de azúcar, soja, maíz, etc), que requieran riego con agua subterránea y aumenten la presión para extender la "frontera" del uso del riego.

Pero los esfuerzos para promover el "comercio del agua virtual" mediante la exportación de cultivos de alto uso de agua (como arroz, maíz, etc) desde países más húmedos hacia otros más secos, podrían hacer una contribución valiosa hacia la reducción en la demanda de agua subterránea para el riego en regiones escasas de agua.

Referencias

- Burke J & Moench M 2000 *Groundwater and society: resources, tensions and opportunities – themes in groundwater management for the 21st Century*. UN-Department of Economic & Social Affairs (New York, USA).
- Foster S & Candela L 2008 *Diffuse groundwater quality impacts from agricultural land-use: management and policy implications of scientific realities*. *Groundwater Science & Policy – an International Overview* RSC Publishing (London, UK) 454-470.
- Foster S & Loucks DP 2006 *Non-renewable groundwater resources – a guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers*. UNESCO IHP-VI Series on Groundwater 10 (Paris, France).
- Foster S & Ait-Kadi M 2012 Integrated Water Resources Management (IWRM) – how does groundwater fit in? *IAH Hydrogeology Journal* 20: 415-418.
- Foster SSD, Chilton P J & Lawrence A R 2000 *Processes of diffuse groundwater pollution by agricultural land-use*. (in) *Groundwater Contamination and its Control in China*. (ed) Fu R, Yi Q & Shoemaker C A UNEP-SCOPE Publication, Tsinghua University Press (Beijing-China) 1-11.
- Foster SSD & Perry CJ 2010 *Improving groundwater resource accounting in irrigated areas: a prerequisite for promoting sustainable use*. *IAH Hydrogeology Journal* 18: 291-294.
- Foster S, Garduno H, Tuinhof A & Tovey C 2009 *Groundwater governance – conceptual framework for assessment of provisions and needs*. World Bank/GWP GW-MATE Strategic Overview Series SO-1 (Washington DC, USA).
- Foster S & Steenbergen F van 2011 *Conjunctive groundwater use – a 'lost opportunity' for water management in the developing world?* *IAH Hydrogeology Journal* 19: 959-962.
- Garduno H & Foster S 2010 *Sustainable groundwater irrigation – approaches to reconciling demand with resources*. World Bank/GWP GW-MATE Strategic Overview Series SO-4 (Washington DC, USA).
- Llamas, M R & Martinez-Santos P 2005 *Intensive groundwater use: silent revolution and potential source of social conflicts*. *ASCE Journal Water Resources Planning & Management* 131: 337-341.
- Ostrom E 1990 *Governing the 'commons': the evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press (Cambridge, UK).
- Shah T 1993 *Groundwater markets and irrigation development: political economy and practical policy*. Oxford University Press (Bombay, India).
- Shah T 2009 *Taming the anarchy: groundwater governance in South Asia*. Resources for Future Press (Washington DC, USA).
- Shah T, Villholth K & Burke J 2007 *Groundwater: a global assessment of scale and significance*. *Water for food, water for life – a comprehensive assessment of water management in agriculture*. IWMI Publication (Colombo, Sri Lanka): 395-423.
- Shah T & Verma S 2008 *Co-management of electricity and groundwater: an assessment of Gujarat's Jyoti-Gram Scheme*. *Indian Economic & Political Weekly* 43: 7: 59-66.
- Shah T, Bhatt S, Shah R K & Talati J 2008 *Groundwater governance through electricity supply management: assessing an Innovative Intervention in Gujarat, western India*. *Agricultural Water Management* 95:1233-1242.
- Shah T, Giordano M. & Mukherji A 2012 *Political economy of energy-groundwater nexus in India: exploring issues and assessing policy options*. *IAH Hydrogeology Journal* (DOI) 10.1007/s10040-011-0816-0.
- Siebert S, Burke J, Faures JM, Frenken K, Hoogeveen J, Doell P & Portman FT 2010 *Groundwater use for irrigation – a global inventory*. *Hydrology & Earth System Science* 14: 1863-1880.

Secretariado de Global Water Partnership (GWP)

Drottninggatan 33

SE-111 51 Estocolmo, SUECIA

Teléfono: +46 8 522 126 30

Fax: +46 8 522 126 31

Correo electrónico: gwp@gwp.org

Páginas web: www.gwp.org, www.gwptoolbox.org



**Global Water
Partnership**