

LOS RETOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO

Albert FOLCH* y Alvar CLOSAS**

(*) Grupo de Hidrología Subterránea (UPC-CSIC). Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. folch.hydro@gmail.com

(**) International Water Management Institute (IWMI). El Cairo, Egipto

1.- INTRODUCCIÓN

El agua dulce es un recurso fundamental para los ecosistemas y un sustento imprescindible para la vida humana (United Nations Committee on Economic, Social and Cultural Rights, 2003). Sin embargo, solo el 2,5 % del agua en la tierra es agua dulce y dos tercios de esta la encontramos en los glaciares y/o en forma de nieve teniendo menos de 1 % del total disponible para multitud de ecosistemas y la humanidad.

El acceso no sólo al agua, sino al agua limpia es esencial para la salud humana y la supervivencia; de hecho, la combinación de agua potable, saneamiento adecuado y prácticas de higiene como el lavado de manos es reconocida como una condición previa para la salud humana y para la reducción global de las tasas de morbilidad y mortalidad, especialmente entre los niños. Además el acceso al agua potable y servicios de saneamiento también es fundamental para otras facetas del desarrollo sostenible, de protección del medio ambiente y la seguridad alimentaria, para el aumento del turismo y de la inversión, de la autonomía de la mujer y la educación de las niñas a la reducción de las pérdidas de productividad debidas a la morbilidad y la malnutrición (UNDP, 2004).

A pesar de su importancia, los recursos hídricos están bajo estrés para llegar a abastecer las demandas futuras debido al crecimiento de la población y el cambio climático, los cuales pueden alterar la distribución espacial y temporal de la disponibilidad de agua dulce en todo el mundo (Döll, 2009; Kundzewicz et al., 2008; Kundzewicz & Döll, 2009; Famiglietti, 2014). El problema de la escasez de agua es especialmente relevante en muchos países en vías de desarrollo.

Los recursos de agua disponible se reducen aún más por los 2 millones de toneladas de residuos (excrementos humanos, desechos agrícolas como pesticidas y químicos y los desechos industriales) que se vierten cada día en los lagos y ríos. La salinidad, así como la contaminación de arsénico, fluoruro, y otras toxinas químicas amenazan el suministro de agua potable en algunas zonas. En los próximos años, el impacto combinado de los aumentos en el consumo de agua per cápita que comúnmente acompañan el desarrollo, el crecimiento de la población en general, una mayor concentración de la población en las zonas urbanas, y el

efecto del cambio climático hará que el agua sea más escasa en la mayor parte del mundo. El balance para el abastecimiento a la población ya está actualmente desequilibrado. Así, Asia, con el 60 % de la población mundial, tiene sólo el 36 % de los recursos mundiales de agua dulce y las disparidades seguirán creciendo. Hoy en día, 20 países se enfrentan a la escasez de agua. Para el año 2050, la escasez de agua afectará al menos 2 millones de personas en 48 países y en el peor de los escenarios la escasez afectará 7 millones de personas en 60 países (UNESCO-WWAP, 2003).

A pesar de los problemas presentes y futuros, el derecho al agua es un derecho universal reconocido por las Naciones Unidas. Sin embargo, para la casi totalidad de los ciudadanos más pobres del mundo, el derecho al agua potable y saneamiento adecuado sigue siendo una promesa sin cumplir. Alrededor de 1,1 millones de personas carecen de acceso a agua potable, y 2,4 millones no tienen acceso a saneamiento básico, una crisis humanitaria que cada día toma miles de vidas, roba la salud de los pobres, impide el progreso hacia la igualdad de género, y obstaculiza el desarrollo económico, en particular en África y Asia. El acceso de agua limpia es más bajo en África, mientras que en Asia, más de la mitad de la población no tienen acceso a servicios básicos de saneamiento. Además, existen importantes diferencias entre las zonas rurales y urbanas, con servicios rurales todavía muy por detrás de servicios urbanos (UNDP, 2004).

En este contexto el agua subterránea tiene cada vez más importancia ya que el agua superficial se está convirtiendo, en mayor medida, en una fuente de agua menos segura y predecible (Kundzewicz & Döll, 2009). Debido a sus características las aguas subterráneas tienen un papel especialmente relevante en los países en vías de desarrollo donde por ejemplo son cada vez más utilizadas en períodos de sequía prolongados como fuente segura de agua (Famiglietti, 2014). En este sentido, actualmente son la primera fuente de abastecimiento de agua dulce para 2.000 millones de personas (Alley, 2006; Kundzewicz & Döll, 2009). Sin embargo, a nivel mundial ya existen grandes masas de agua subterránea con problemas y según WHYMAP y Margat (2008) las masas bajo estrés se encuentran en países en vías de desarrollo, siete en África, una en Oriente Medio y dos en Asia según el estudio de Richey et al. (2015).

2.- IMPLICACIONES HIDROGEOLÓGICAS

2.1.- La importancia de las aguas subterráneas en los países en vías de desarrollo

Las aguas subterráneas están estrechamente interrelacionadas con las aguas superficiales; tanto es así que según modelo global *Water GAP-2* (Döll et al., 2002) se calcula que el 36 % del agua que fluye por los ríos es de origen subterráneo, es decir, que va a parar más agua a los ríos proveniente de acuíferos que la que existe almacenada en todos los embalses del planeta. Por tanto, no es solo un recurso de gran importancia para el medio ambiente sino también para el desarrollo de la sociedad.

Asimismo ésta presenta ciertas ventajas respecto a las aguas superficiales. A nivel cuantitativo, las aguas almacenadas en los acuíferos se ven menos afectadas por la evaporación que por ejemplo el agua que encontramos en lagos y embalses, factor especialmente relevante en climas secos o muy secos. Igualmente, las aguas subterráneas no

sólo fluyen a través de los poros y las fracturas de los materiales del suelo sino que también se almacenan. Esto hace que estén menos afectadas por las variaciones estacionales y/o anuales. Esta característica también las hace especialmente relevantes en climas secos, como ocurre por ejemplo en los países árabes, ya que son una garantía para el abastecimiento de agua incluso en períodos de sequía prolongados. A este factor se le debe sumar el hecho que en muchas zonas el agua que está almacenada hoy en día en los acuíferos se recargó en épocas pasadas. Por ejemplo, muchos de los acuíferos del Sahara se llenaron de agua hace más de 5.000 años, durante un período climático mucho más lluvioso que el actual. Estas circunstancias hacen que en muchas zonas de África, con precipitaciones relativamente bajas, encontramos acuíferos con una alta productividad (Figura 1). Por tanto, son una fuente segura de abastecimiento para la población y la agricultura contribuyendo al desarrollo de comunidades locales y centros urbanos y actuando como amortiguador de las variaciones climáticas.

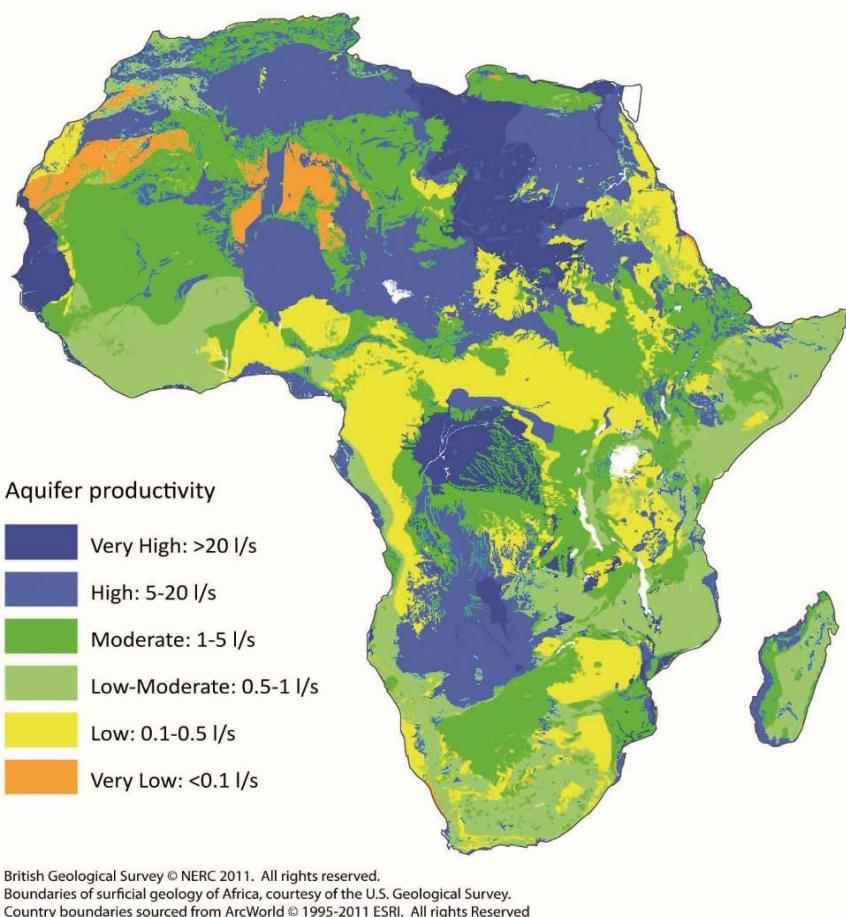


Figura 1. Productividad de los acuíferos en el continente Africano. Mapa proporcionado por el British Geological Survey © NERC 2012. Todos los derechos reservados (MacDonald et al., 2012

A nivel cualitativo las aguas subterráneas acostumbran a presentar una salinidad más elevada que las aguas superficiales para una misma zona. Sin embargo, el agua del suelo presenta una calidad y una temperatura menos variable. También presentan una menor vulnerabilidad a la contaminación ya que el suelo y el propio acuífero hacen de filtro de gran

variedad de contaminantes. Esta característica, sumada a un mayor tiempo de tránsito (en el subsuelo) que las aguas superficiales hacen que el agua subterránea contenga en general muchos menos microorganismos patógenos que el agua superficial. Ese factor es especialmente relevante en países en vías de desarrollo donde en muchas zonas no existe una red de alcantarillado ni un tratamiento adecuado de las aguas residuales urbanas pudiendo existir riesgo de contaminación a través de letrinas y otros métodos de saneamiento no adecuados.

Otro punto muy importante es que por sus características inherentes las aguas subterráneas se encuentran repartidas por el territorio. Así en las zonas donde el nivel freático no es muy profundo su acceso es mucho más fácil que a las aguas superficiales. Esto es especialmente relevante en países en crecimiento donde en la mayor parte de los casos las infraestructuras hidráulicas no son suficientes para abastecer de agua a gran parte de la población. Esto ha hecho que la construcción de pozos en poblaciones aisladas en algunas zonas rurales haya dado un mayor acceso al agua evitando que muchos habitantes, sobre todo mujeres, no tengan que caminar largas horas para tener acceso a una mínima cantidad de agua no siempre potable. Si a este factor le sumamos la ya mencionada mayor calidad que habitualmente encontramos en el agua del subsuelo, los beneficios que se producen a nivel de productividad y salud de dichas poblaciones son muy significativos.

Si se dan las condiciones favorables, el acceso a las aguas subterráneas para el regadío puede suponer una inversión más asequible para los agricultores que el acceso a los sistemas de distribución de aguas superficiales. Estos sistemas de distribución cuentan con infraestructuras importantes (ej. canales, presas, etc.), muchas veces financiadas por el estado. Una vez se acelera la competencia para el acceso al agua superficial, o los costes o tasas relativas a la adquisición de agua superficial se incrementan, o las precipitaciones merman más de lo normal, los agricultores prefieren sortear ellos mismos los costes de la construcción de un pozo. Este es un escenario factible en muchos países en desarrollo puesto que muchos de los insumos para la agricultura están subvencionados (acceso a créditos para la inversión agraria, subsidios para la energía, precios de venta subvencionados). Los beneficios que se pueden obtener de las cosechas de productos de más alto valor añadido (maíz, alfalfa, frutas, verduras) hacen que la inversión para un pozo sea atractiva para los agricultores (sumándose también los subsidios para la electricidad por ejemplo en muchos países en desarrollo).

Todas estas características han hecho que la importancia del agua subterránea en el desarrollo socio económico sea ampliamente reconocido (Naciones Unidas, 1960 y 2000). Sin embargo, el hecho de que las aguas subterráneas se encuentren cerca del usuario y con una necesidad de tratamiento mínimo ha hecho que sean relativamente baratas de desarrollar dando lugar a que la explotación del agua subterránea se haya producido mayoritariamente de forma privada. Esto implica que la toma de decisiones sobre la extracción de las aguas subterráneas sea muy descentralizada: numerosas personas toman decisiones, a menudo sin ningún tipo de coordinación dando lugar a problemas en su gestión. Como resultado el desarrollo y el uso de aguas subterráneas se ha dado rápidamente en los últimos años, a menudo fuera de los marcos de gobernanza. Así, el bombeo sin restricciones y la contaminación han llevado a la insostenibilidad de los acuíferos, y la distribución y utilización de las aguas subterráneas ha sido a menudo mal alineada con los objetivos de la sociedad para la equidad, la sostenibilidad y la eficiencia (FAO, 2015).

2.2.- Situación actual en diferentes países en vías de desarrollo

La escala y el ritmo de extracción de agua subterránea están relacionados directamente con la expansión masiva de la capacidad de bombeo que se ha producido en las últimas cinco décadas en muchas partes del mundo. Por ejemplo, el número de bombas diésel y eléctricas en la India ha pasado de 87.000 en 1950 hasta 1.2580.000 en 1990 (CGWB, 1995), llegando a los 20 millones aproximadamente ya en el 2003 (FAO, 2003b). El caso de la India es sólo un ejemplo del crecimiento espectacular que se ha producido en países en vías de desarrollo. Sin embargo, este progreso tan importante ha traído consigo diferentes problemáticas vinculadas a los recursos hídricos subterráneos en muchas zonas del mundo.

2.2.1.- Países árabes

Dada su aridez, el agua subterránea es un recurso estratégico para esta región. Esto es debido a la escasez, por lo general, de agua superficial junto con una tasa de crecimiento demográfico que ha llevado a que la población de la región se duplique entre 1980 y 2011 de 170 a 350 millones de personas (Al Zubari, 2012). El agua subterránea es, en algunos casos, la primera fuente de abastecimiento para la agricultura, usos urbanos, e industriales, como por ejemplo países como Bahréin, Jordania, Omán, y Yemen donde más del 50 % de las necesidades en agua están cubiertas por las aguas subterráneas (UNDP, 2013).

En la región encontramos que la expansión del regadío privado, gracias a los pozos, se ha debido a la ausencia de mecanismos de regulación y control eficaces, una presencia de agua subterránea relativamente superficial (en su primer momento), el fácil acceso a la tecnología (subsidios y créditos asequibles para los agricultores), y la fuerte productividad y rentabilidad de las cosechas (Closas y Molle, 2016). Esto ha dado lugar al agotamiento de los acuíferos y la disminución de caudales estacionales que ayudaban a mantener sistemas de regadío a pequeña y mediana escala (*ibid.*). A través de los países de la región, las capas freáticas están disminuyendo, llegando a profundidades de hasta los 300 m en la región Tadla, Marruecos (Hammani y Kuper, 2008) o una caída del nivel freático de 24 m en 34 años en la región de Souss (*ibid.*).

En Argelia, el agua subterránea es extraída a través de más de 112.000 pozos (FAO, 2008). En las regiones desérticas de este país, el 96 % de la demanda total de agua en las regiones desérticas proviene del agua subterránea, y a nivel del país, el 75 % de las necesidades totales de agua están cubiertas con agua subterránea (*ibid.*). Según el mismo informe de la FAO, la mayoría de los acuíferos de la zona norte del país están sobreexplotados, con caídas importantes en los niveles freáticos (alcanzando hasta 1 m por año). También hay una proliferación generalizada de pozos ilegales (sin licencias), así como una disminución en la calidad del agua en zonas costeras debido a la intrusión de agua de mar (Closas y Molle, 2016; FAO, 2008).

En Túnez, el uso de aguas subterráneas para regadío representa el 86 % del uso total de este recurso en el país (Gaubi, 2008). En el Líbano, la agricultura y los sectores de abastecimiento de agua potable son los principales consumidores de agua subterránea (Banco Mundial, 2003; Closas y Molle, 2016). Los pozos se perforan continuamente, sobre todo por el sector privado, para satisfacer la demanda creciente de agua (Banco Mundial, 2003). Esta tendencia aumentó considerablemente desde 1975, después de que comenzara la guerra civil,

debido a la interrupción de los servicios públicos y de la entrega de agua durante ese periodo (ibid.).

El uso y dependencia que los países de la región tienen con respecto al agua subterránea ha inducido, durante estas últimas décadas, al uso intensivo y sobreexplotación de acuíferos. Esta sobreexplotación está inducida principalmente por razones de gestión y gobernanza del recurso. La presencia de incentivos negativos para los usuarios de agua subterránea, en la forma de subsidios de los gobiernos para mejorar los rendimientos agrícolas, ha tenido efectos perversos sobre el nivel de abstracción, el uso del agua subterránea y del desarrollo de pozos para la agricultura (Closas y Molle, 2016). Otros incentivos agrícolas como el apoyo a los precios internos, barreras a las importaciones o subvenciones y subsidios a la energía (diésel o eléctrica) también han contribuido al desarrollo de la agricultura y a la expansión del regadío, permitiendo a los agricultores tener acceso a créditos agrícolas y abrir pozos, usando agua subterránea para cultivos de bajo valor (Banco Mundial, 2007).

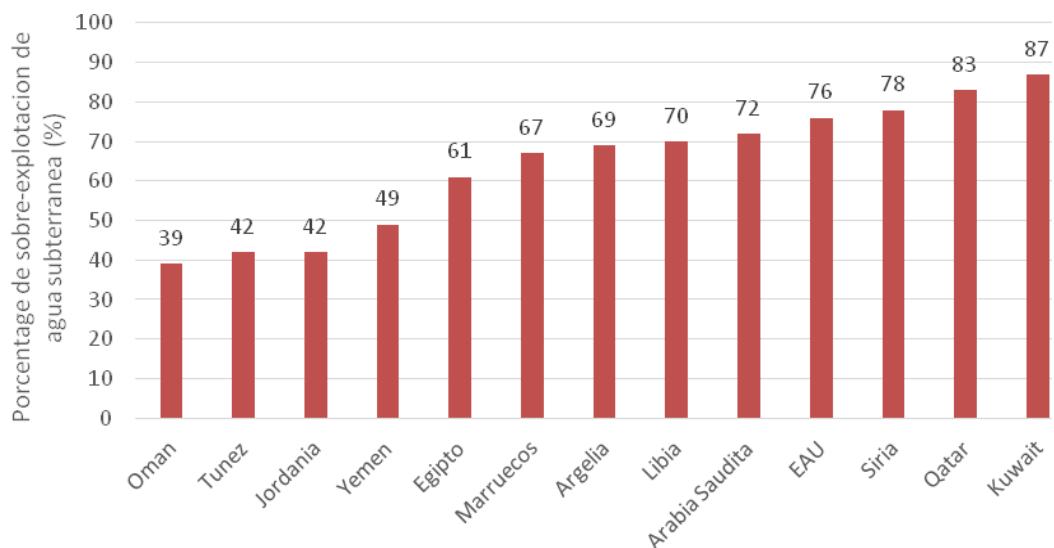


Figura 2. Sobreexplotación del agua subterránea en los países árabes (en porcentaje de agua subterránea no renovable) Nota: datos para el año 2000, calculado como porcentaje de la abstracción de los recursos no renovables. Este porcentaje está estimado como la fracción anual del agotamiento total de los recursos de agua subterránea para zonas subhúmedas en cada país sobre la abstracción total de recursos de aguas subterráneas por año (datos de Wada et al., 2012)

Problemas de control de los usos

El hecho de que sería extremadamente costoso controlar todos y cada uno de los pozos, ha llevado a algunos gobiernos a centrarse tan sólo en el control de las nuevas perforaciones y la profundidad de los pozos existentes así como el uso de tarifas y cuotas para controlar los volúmenes extraídos (Closas y Molle, 2016; Faysse et al., 2011). Este control es, no obstante, muy difícil debido a la atomización de los usuarios, a su repartición geográfica por el territorio, y a la falta de medios (financieros y de personal) del estado y de las agencias públicas para poder controlar las extracciones.

En Yemen, todos los equipos de perforación y construcción de pozos deben cumplir con las especificaciones técnicas emitidas por la Agencia Nacional del Agua (Morill y Simas, 2009). Sin embargo, a pesar de que a finales del año 2006 había 125 contratistas con licencia para abrir pozos, existían (que se conozca) unos 409 equipos de perforación, la mayoría ilegales (NWSSIP, 2008; Redecker, 2007). En Siria, a pesar del hecho de que la regulación actual requiere que los pozos de agua subterránea tengan contadores instalados, la falta de formación de los ingenieros y funcionarios públicos afecta a la aplicación de esta medida ya que carecen de habilidades técnicas y tampoco pueden formar a los agricultores en el uso adecuado de estos sistemas (Closas y Molle, 2016). En Jordania, el control de las extracciones se hace mediante cuotas para los usuarios. Su aplicación es difícil debido a la manipulación de los contadores por los usuarios (ibid.).

Problemas de regulación y aplicación de normas

Muchos países de la región han tratado de implementar y poner en marcha los aparatos institucionales y de organización supuestamente necesarios para controlar y reducir la sobreexplotación de agua subterránea. En Siria, Yemen o Jordania, a pesar de los marcos normativos y legales encaminados a limitar las abstracciones, emitir permisos para pozos, establecer prohibiciones de perforación, etc., la apertura de pozos continua sin permisos, control o vigilancia del Estado. Este caos y la falta de aplicación se debe, no obstante, a problemas estructurales políticos que van más allá de la mera gestión del agua subterránea (problemas de gobernanza, desarrollo económico y político) (Closas y Molle, 2016). La gestión y aplicación de las reglas sufren también de problemas organizacionales y administrativos puesto que, en muchos casos, la división administrativa de los ministerios no acompaña. Esto es debido a una estructura institucional de compartimentos estancos separados, con competencias repartidas entre varios ministerios (como por ejemplo en Yemen) y sin un marco compartido entre la agricultura y la gestión de los recursos hídricos (Closas y Molle, 2016; Faysse et al., 2011).

En Túnez, a pesar de que la regulación de la extracción de agua subterránea requiere, según la ley, un permiso para la captación de agua subterránea, las capacidades de aplicación de la ley y las normas son débiles. Frija et al. (2013) consideran que la falta de conocimiento del recurso de los agricultores sobre el estado de sobreexplotación del agua subterránea empeora esta situación en el país. En Siria, la corrupción de los funcionarios sobre el terreno requiere pagos con el fin de entregar licencias a los agricultores (de Chatel, 2014). En Marruecos, en la zona del Souss Massa, la falta de recursos humanos y financieros impide que la Agencia de Cuenca no tenga capacidad para cerrar pozos que no tengan autorización. En este caso, la Agencia de la Cuenca del río Souss Massa tiene sólo dos agentes que actúan como policía de agua y las disposiciones legales que facilitarían la participación de los agentes de policía como parte de la fuerza policial del agua no se han cumplido (ibid.).



Figura 3. Ejemplo de pozo en Túnez dónde muchos de ellos carecen de permiso puesto que los propietarios los han ido ahondando y el estado no tiene los medios para controlar la profundidad de todos los pozos (A. Closas, proyecto “Groundwater Governance in the Arab World”, financiado por USAID)

Problemas de acceso y equidad

La gestión y acceso del agua subterránea en los países árabes también genera problemas de equidad y distribución equitativa del recurso. En la región de Tadla en Marruecos, las diferencias en el acceso a los mercados y subsidios estatales entre las grandes explotaciones de regadío y pequeñas granjas aumentan la desigualdad económica y social en las comunidades rurales agrícolas (Kuper et al., 2012).

Estas diferencias se agravan aún más por las disparidades en el acceso al capital económico: los agricultores con medios financieros son capaces de utilizar fuentes alternativas de agua y abrir pozos con el fin de liberarse de las restricciones generadas por una falta de infraestructura o de mantenimiento de las obras para el regadío con aguas superficiales (canales, presas, etc.) (Van Steenbergen y El Haouari, 2010). Tanto en Yemen como en Marruecos, los agricultores más grandes pueden beneficiarse de los subsidios estatales (para el diésel por ejemplo, en Yemen), mientras que las pequeñas explotaciones sufren de la reducción de la presencia del Estado y tienen que invertir ellos mismos con el fin de continuar con la agricultura y mejorar así su productividad (Al-Weshali et al., 2015; Kuper et al., 2012). En Yemen, ha sido estimado que el 20 % de agricultores más ricos se beneficia del 40 % de los subsidios para el diésel en comparación con el 40 % de los hogares que sólo son capaces de acceder al 25 % de estas subvenciones (IMF, 2013).

Problemas de calidad de las aguas subterráneas

En los países árabes, el uso intensivo de las aguas subterráneas está acarreando problemas de calidad, sobre todo en las áreas costeras de países como Líbano y Túnez. En estos países la población se concentra principalmente en las zonas próximas al mar y el desarrollo del turismo ha conllevado que, por ejemplo, en Túnez la salinización por agua de mar en los acuíferos costeros de la zona del Cap Bon en el noroeste del país haya supuesto el abandono de tierras de cultivo (Charfi et al., 2013; El Hedi Louati y Bucknall, 2009). En el Líbano, alrededor de la capital, Beirut, el uso de pozos privados en las zonas costeras para abastecimiento de agua potable ha conllevado a una sobreexplotación y a problemas de calidad de las aguas subterráneas costeras (Masciopinto, 2013). La conductividad de las aguas subterráneas presenta niveles dos veces más elevados que el límite recomendado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (Korfali and Jurd, 2010). La sobreexplotación de las aguas subterráneas en acuíferos multicapa como en Jordania, también ha dado lugar en algunos casos al descenso de la calidad debido a la mezcla de las aguas subterráneas en la columna de los pozos (debido también a técnicas de perforación subóptimas) (El-Naqa et al., 2007; Goode et al., 2013).

2.2.2.- África subsahariana

El agua subterránea es abundante en África subsahariana, siendo la principal fuente de agua potable para la población y proporcionando también una reserva estratégica dependiendo de la variabilidad climática (Altchenko y Villholth, 2015; MacDonald et al., 2012). Se estima que el 30 % de la población urbana pobre en África subsahariana depende de las aguas subterráneas a través de pozos compartidos, grifos públicos o proveedores privados repartiendo agua (Chakava et al., 2014). No obstante, aunque las aguas subterráneas de esta zona son un recurso importante para las ciudades, su abstracción y gestión se efectúan de manera informal. La prestación de servicios de abastecimiento con agua subterránea de manera organizada y formalizada tiende a ser minoritaria, con sólo un puñado de grandes ciudades usando agua subterránea como fuente permanente de suministro de agua (por ejemplo, Abijan en Costa de Marfil, Bamako en Malí, y Lusaka en Zambia) (Foster et al., 2010). Sin embargo, el uso de pozos de propiedad privada se ha convertido en la fuente de más rápido crecimiento de abastecimiento de agua en ciudades (según las estimaciones de Jacobsen et al. (2012), el 24 % del abastecimiento urbano de agua se obtiene de pozos de agua).

Una gran parte de los desafíos relacionados con las aguas subterráneas en la región del África subsahariana tiene relación con el nivel de información y el conocimiento de este recurso natural. En esta región, varios autores han subrayado la falta de datos sobre el papel real del uso del agua subterránea y su rol en el mantenimiento de los medios de vida agrícolas en los países de la región (por ejemplo MacDonald et al., 2011; Giordano, 2006; Wang et al., 2010). Existe también una falta de información sobre la magnitud y distribución temporal y espacial de la recarga de acuíferos ya que la mayoría de estudios se han realizado a pequeña escala y utilizando diferentes metodologías y datos, resultando en una falta de coherencia entre las estimaciones. Su distribución es también irregular y desigual a través del continente (Wang et al., 2010). Un estudio realizado por Pavelic et al. (2012: 267) hace hincapié en la afirmación de que los datos sobre los sistemas de aguas subterráneas a lo largo de la región es escasa y que "el estado actual del conocimiento crea una barrera para el desarrollo sostenible de las

aguas subterráneas".

La falta de desarrollo de las aguas subterráneas para la agricultura también está relacionada con un apoyo institucional limitado, y una falta de desarrollo de políticas específicas (Chokkakula y Giordano, 2013). Los sistemas bancarios en la región no son, por lo general, muy fuertes y la estructura financiera no facilita el acceso a crédito para invertir en pozos y tecnología para regadío para los agricultores. Además, la falta de seguridad en la propiedad de la tierra supone otro factor que limita las inversiones, ya que los agricultores no ven interesante invertir y abrir pozos debido a la inseguridad institucional y la vulnerabilidad de la propiedad y los acuerdos de alquiler (ibid.).

En Ghana por ejemplo, el 80 % de la tierra está bajo administración de leyes consuetudinarias y tradicionales, lo que significa que las disputas sobre la propiedad de la tierra están sujetas a regulaciones tribales heterogéneas (Sarpong 2006 en Chokkakula y Giordano, 2013). La investigación realizada por Villholth et al. (2013) en los Llanos de Usangu en Tanzania confirma también las limitaciones institucionales y estructurales a las que se enfrentan los agricultores. El acceso limitado a las aguas subterráneas es debido en parte a la falta de insumos para la producción agraria (falta de acceso a fuentes de energía, poca penetración de la tecnología, piezas de recambio y de los mercados en las zonas rurales). Estos autores encontraron limitaciones importantes relacionadas también con los medios financieros limitados de los agricultores, junto con la falta de estructuras de apoyo para la extracción de agua subterránea (políticas de perforación, servicios de extensión, y bombas) (ibid.).



Figura 4. Ejemplo de extracción tradicional en Kenia mediante bombas manuales (A. Folch, proyecto “Gro for Good: Groundwater Risk Management for Growth and Development” (<http://upgro.org/consortium/gro-for-good/>))

2.2.3.- India

India posee alrededor de una quinta parte de la superficie total equipada para regadío en el mundo, unos 62 millones de hectáreas de las cuales casi 40 millones dependen de las aguas subterráneas como fuente de agua única o conjuntamente con las aguas superficiales (Das y Burke, 2013; Siebert et al., 2010). La extracción de agua subterránea en la India es un fenómeno caracterizado por su intensidad y por la "anarquía" de su desarrollo (Shah, 2009). La transformación de un sistema tradicional de regadío en sistema moderno de pozos y bombas privados ha llevado una dependencia muy alta de este recurso para la agricultura, pues alrededor del 60 % de las zonas de regadío son atendidas por pozos (Das y Burke, 2013; Shah, 2007). Los pozos han traído seguridad y flexibilidad en el acceso al agua a los agricultores, permitiéndoles mejorar su condición social y la reducción de su vulnerabilidad y dependencia de las lluvias, una mejora de la producción de alimentos e ingresos más regulares (Molle, 2013).

Esta revolución, tanto social como agrícola y económica, fue impulsada en parte por la disponibilidad de agua subterránea poco profunda y un acceso a la tecnología de apertura de pozos y abstracción de agua económicamente accesible. No obstante, los efectos de esta dinámica se han dejado notar en las reservas de agua subterránea en la India. En el norte del país grandes áreas están actualmente sobreexplotadas, con descensos significativos en los niveles freáticos (con un promedio combinado en Rajasthan, Punjab, Haryana y Delhi de casi un metro por año entre 2002 y 2008) (UNEP y GEAS, 2012). En Delhi, por ejemplo, el 74 % de los acuíferos están sobreexplotados, en Haryana el 59 %, en Punjab es un 80 % y en Rajasthan 69 % (CGWB, 2013). Regiones en Gujarat en Rajasthan tienen también poca precipitación y poco acceso a agua superficial, aumentando la dependencia y la presión sobre el agua subterránea.

La explotación de las aguas subterráneas ha causado impactos ambientales, sociales y económicos negativos. El aumento de los costes económicos de los agricultores está también relacionado con la disminución del recurso ya que estos deben incurrir en un gasto más elevado (profundización de pozos, gasto más elevado de diésel) debido a la bajada de niveles freáticos. Estos gastos están no obstante mal repartidos, con agricultores pequeños y medianos cargando con una mayor proporción de los gastos (ya que en muchos casos estos deben de recurrir a comprar agua a agricultores más grandes y con pozos más profundos) (Reddy, 2003).

La sobreexplotación de las aguas subterráneas ha tenido efectos en la calidad del agua, con incrementos de salinidad (con la intrusión de agua de mar y también la mezcla con aguas subterráneas naturalmente más saladas) y el aumento de la concentración de flúor (más de 1 mg por litro en Gujarat y Rajasthan) (Sundarajan et al., 2009). En las zonas del Himalaya, la extracción de agua subterránea ha afectado fuentes naturales de las que dependen un número variado de comunidades, afectadas también por una falta de protección de las zonas de recarga (ibid.).

2.2.4.- Pakistán

En Pakistán, una alta densidad de población y una multitud de usuarios dispersos y atomizados hacen que la introducción de instrumentos para la regulación del agua

subterránea, tales como derechos de extracción de agua, la fijación de precios o permisos para pozos sea difícil (Qureshi et al., 2010). Las aguas subterráneas también ayudan a los agricultores a complementar la falta de agua superficial en sistemas de regadío con agua superficial al llenar las carencias en estos sistemas. Por otra parte, los mercados de intercambio de servicios relacionados con el agua subterránea (alquiler de bombas, uso de pozos para otros agricultores o compra-venta de agua) también permiten el acceso a este recurso a los pequeños usuarios. Estos mercados de agua subterránea en Pakistán según Jacobi et al. (2001) se caracterizan por sus barreras de entrada y fragmentación espacial. La necesidad de poseer tierras antes de abrir un pozo y los altos costes de instalación son barreras importantes para los pequeños agricultores. En este sentido Meinzen-Dick (1996) encontró que los grandes terratenientes tienen más probabilidades de poseer pozos y bombas y que por lo contrario los pequeños propietarios y los que alquilan tierras son más propensos a usar estos mercados de servicios para obtener agua subterránea.

3.- ANALISIS DE LAS PRINCIPALES PROBLEMÁTICAS

Los desafíos relacionados con el agua aumentarán significativamente en los próximos años. El continuo crecimiento demográfico y el aumento de ingresos darán lugar a un mayor consumo de agua, así como a la producción de más residuos. La población urbana en los países en desarrollo crecerá drásticamente, generando una demanda de agua mucho más allá de la capacidad, ya insuficiente, de las infraestructuras y servicios de agua y sanidad. A nivel mundial, las extracciones para suministro de agua se prevén que aumenten en un 50 % en 2025. Esto puede limitar seriamente la disponibilidad de agua para todos los usos particularmente para la agricultura, que actualmente representa el 80 % del agua que se consume en los países en desarrollo. La agricultura no sostenible así como el crecimiento en la producción industrial es probable que aumente tanto la demanda de agua como su contaminación. Estos factores sumados al efecto del cambio climático empeorarán la escasez de agua a niveles de crisis en muchas partes del mundo, y en 2025, casi dos tercios de la población mundial vivirán en regiones con escasez de agua. Esta situación probablemente hará que la falta de agua se convierta con frecuencia en una causa de conflicto (UNDP, 2004).

Uno de los desafíos más destacados y ya comentados en la sección anterior es la sobreexplotación de acuíferos que da lugar a un descenso continuo de niveles con múltiples consecuencias en los países en vías de desarrollo. Esta disminución puede tener un impacto en la equidad entre hombres y mujeres como sugiere la FAO (2003b). Con el descenso de niveles, muchos pozos de abastecimiento a menudo se quedan secos obligando a las mujeres y niños a caminar grandes distancias o hacer largas colas para satisfacer sus necesidades básicas. Los agricultores con menos recursos a menudo sólo son capaces de pagar pozos de baja capacidad y/o poca profundidad. A medida que los niveles de agua caen, pueden ser excluidos progresivamente de acceso a las aguas subterráneas por los costes de profundizar y la necesidad de nuevos equipos. Este efecto socaba la seguridad alimentaria y los beneficios del desarrollo económico generados por el acceso a las aguas subterráneas. Además, los descensos de nivel de agua aumenta considerablemente la probabilidad de impactos ambientales en ríos y humedales y la ocurrencia de hundimientos del terreno. También aumentan la probabilidad de que el agua de baja calidad y los contaminantes migren hacia acuíferos clave para el abastecimiento de agua dulce. Este fenómeno es común en zonas costeras donde la extracción de agua dulce por encima de su límite sostenible acaba induciendo la migración tierra adentro de la intrusión salina reduciendo la calidad y hasta

imposibilitando el uso del agua en acuíferos costeros. Finalmente, la disminución del nivel de agua puede conducir al agotamiento económico de los recursos de agua subterránea renovable. Con la bajada de niveles, los costes de perforación y bombeo aumentan. Así, se puede dar la situación que aunque el agua esté todavía disponible físicamente, el costo de extracción puede ser lo suficientemente alto como para excluir muchos de sus usos excepto aquellos con un mayor retorno (FAO, 2003b).

Paradójicamente hay zonas del mundo donde el principal problema es la subida del nivel freático y el anegamiento de tierra debido la introducción del riego a través de una agricultura insostenible, donde además también se acostumbra a producir salinización del suelo. Sin embargo, según un informe de la FAO (2003b) su impacto en los agricultores y las economías regionales puede ser insidioso. En los primeros años, la introducción del riego a menudo causa una transformación dinámica de las economías regionales y de los hogares. Los agricultores introducen variedades de cultivo con alto rendimiento y son capaces de producir cultivos de valor en el mercado; se crea la riqueza. Sin embargo, como el nivel freático sube, la 'burbuja económica' basada en la gestión insostenible del agua se desinfla. Una vez salinizadas, la tierra y la zona no saturada del suelo son difíciles y costosas de recuperar. En última instancia, muchas familias de agricultores (y economías regionales) pueden estar en peor situación que antes de la introducción del riego a menos que se encuentren métodos sostenibles y asequibles de remediación.

Tanto el anegamiento pero sobretodo la sobreexplotación de acuíferos se verán afectados por el efecto del cambio climático. Particularmente, los aumentos previstos por los expertos en la frecuencia y la severidad de los eventos extremos como inundaciones y sequías (Trenberth, 2011) dará lugar a cambios en la dinámica hidrogeológica, sobretodo la recarga, que afectaran de forma muy significativa a los usos de agua subterránea y a los ecosistemas relacionados. Sin embargo, a pesar de que en las zonas húmedas en latitudes altas y bajas serán más húmedas, y las zonas entremedio serán más secas (Milly et al., 2002), el efecto que tendrá el cambio climático en los recursos hídricos subterráneos de cada zona es difícil de conocer en profundidad. En este sentido, el estudio de Taylor et al. (2013) revela, a partir de una serie de datos de nivel de más de 55 años en la zona de Tanzania, que las mayores recargas del acuífero se producen durante los eventos de lluvia más intensos. Estos eventos de precipitación/recarga, que se esperan que aumenten con el cambio climático, son los únicos que interrumpen el descenso multianual de niveles, manteniendo la seguridad hídrica de las comunidades locales que dependen del agua subterránea.

Otro gran problema que reduce la cantidad de recursos hídricos disponibles a nivel mundial es la contaminación. A pesar de que las aguas subterráneas presentan una menor vulnerabilidad que las aguas superficiales, éstas tampoco son inmunes. En muchos países en desarrollo, el uso de químicos agrícolas ha sido bajo en comparación con los niveles usados en los países industrializados. Sin embargo, esto puede ya no ser el caso, especialmente en aquellos países donde se irriga de forma extensiva como India y China. La preocupación por la contaminación de las aguas subterráneas con productos de origen agrícola no es nueva y ya se plantearon como un problema importante en los 70 (Chaturvedi, 1976) aunque había pocos datos disponibles. En ese momento, el uso de productos químicos para la agricultura aún era bajo. Sin embargo, en 1991, el uso de fertilizantes por hectárea de tierra agrícola fue un 60 % más alto que en los Estados Unidos de América (Repetto, 1994). A pesar de ese incremento, aún no existía en la India ninguna agencia que realizara un monitoreo sistemático para identificar posibles fuentes de contaminación difusa (FAO, 2003b). Es de destacar además,

que la contaminación por actividades agrarias no solo se reduce a la aplicación de productos químicos y fertilizantes en los campos de cultivo sino que también se puede dar en todas aquellas zonas donde existe una acumulación significativa de heces de animales como granjas o zonas de alimentación de ganado. La naturaleza dispersa de fuentes de contaminantes es un reto importante para el seguimiento y control de la contaminación de las aguas subterráneas relacionadas con la agricultura. A diferencia de la industria o de las redes de alcantarillado, los contaminantes agrícolas están dispersos en grandes áreas de tierra. Si bien el retorno que se produce en los canales de drenaje puede ser monitoreado, es difícil determinar el grado de infiltración directa de contaminantes a través de los suelos y en las aguas subterráneas hasta que no se dan concentraciones significativas (*ibid.*), momento en el que su remediación es mucho más costosa.

La contaminación en estos países también se produce de forma importante en las ciudades. Así, cuando existen redes de alcantarillado, éstas presentan unas pérdidas muy superiores a las que encontramos en los países desarrollados. Y en muchos casos, las aguas residuales se vierten directamente sobre drenes o canales sin ningún tipo de impermeabilización. En algunos de estos países, encontramos que en las zonas urbanas y periurbanas, se utilizan letrinas y pozos negros para deshacerse de las aguas residuales domésticas. Estos son a menudo relativamente profundos (más de 3 m) y descargan por debajo del suelo y de la zona de alteración, que son las capas que tienen mayor capacidad de filtrar, absorber y atenuar las concentraciones de contaminantes (Pedley y Howard, 1997).

Al igual que en los países desarrollados también existe contaminación industrial. Sin embargo, a diferencia de éstos y como pasa con la contaminación de origen agrícola no existe una monitoreo de estas zonas excepto en aquellas donde se producen grandes eventos de contaminación (FAO, 2003b). Además, es de destacar que existen muchos compuestos industriales difíciles de analizar y algunos de ellos con características (solubilidad, viscosidad, peso molecular, etc.) que los pueden hacer muy persistentes en las aguas subterráneas.

El hecho de que exista poca información sobre la contaminación en este tipo de países hace que no se pueda estimar su importancia en la salud y a otros costes derivados de la contaminación de las aguas subterráneas. Sin embargo esto no significa que los costes humanos y ambientales asociados a la contaminación de las aguas subterráneas no sean importantes. Las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua son una preocupación importante en muchas partes del mundo. En 1994, el cólera causó más de 10.000 muertes; en los últimos años, 25.000 muertes han sido causadas por la fiebre tifoidea, 110.000 por amebas; y las enfermedades diarreicas han cobrado la vida de 3,2 millones de niños menores de 5 años (Pedley y Howard, 1997). No existen datos completos sobre muertes y enfermedades causadas por la absorción de metales traza y otros contaminantes. Sin embargo, en general, los días perdidos por enfermedad y la continua afección de enfermedades a la sociedad es mucho mayor que el número real de muertos. Aunque la cantidad de muertes y la enfermedad que se puede atribuir a la contaminación de las aguas subterráneas per se en oposición a las aguas superficiales es desconocida, esta es una carga continua para la salud de grandes poblaciones, especialmente en países en desarrollo (FAO, 2003b). Por tanto, el conocimiento, la gestión y reducción de la contaminación son retos importantes en muchos países del globo pero sobretodo en los países en vías de desarrollo.

4.- PROSPECTIVA

Como se ha podido observar, a pesar de la importancia que tienen las aguas subterráneas en países en vías de desarrollo, éstas están afectadas por diferentes problemáticas, que a medio y largo plazo, van a dificultar que sigan contribuyendo al desarrollo socioeconómico de dichos países. Para invertir esta situación existen tres grandes retos:

- 1.- Una mejora del conocimiento de su funcionamiento e hidrodinámica. Como se ha comentado en general no se conocen el funcionamiento y la calidad de agua de muchos sistemas acuíferos. Por ejemplo, a pesar de la importancia de las grandes masas de agua subterránea en estos países, su conocimiento es limitado comparado con las aguas superficiales (Foster y Chilton, 2003; Famiglietti, 2014), principalmente debido a la complejidad y a que el coste del monitoreo de las grandes masas de agua es prohibitivo.
- 2.- Gobernanza y gobernabilidad de las aguas subterráneas: en muchos países en desarrollo la aplicación de las normas de control de nuevos pozos, uso de licencias y otras normas se hace sin una aplicación real y el impacto sobre el terreno y en las prácticas de los agricultores y en la extracción de agua subterránea de estas normas no se materializa. La falta de recursos, los problemas políticos e institucionales, la existencia de intereses variados que afectan la aplicación de las normas, y las diferencias en la equidad en el acceso al agua subterránea representan un reto complejo para estos países para poder garantizar un uso justo pero también sostenible de este recurso.
- 3.- Mejora de la gestión: un buen conocimiento de los sistemas hidrogeológicos junto la implementación de políticas adecuadas en un marco de gestión integral de los recursos hídricos permitiría disponer de agua subterránea de forma sostenible y para las futuras generaciones. Sin embargo, muchos países en vías de desarrollo contienen sistemas acuíferos muy complejos (algunos compartidos por varios países) en múltiples contextos políticos y socioeconómicos que pueden dificultar y/o limitar la implementación de las medidas de gestión adecuadas.

Hace ya más de una década que Kemper (2004) hacía una serie de recomendaciones para superar estos retos:

- El tiempo es la esencia. Muchos países en desarrollo necesitan reconocer su dependencia social y económica en las aguas subterráneas, y así invertir en el fortalecimiento institucional y crear capacidad institucional para la mejora de su gestión, antes de que sea demasiado tarde y los recursos de agua subterránea estén irrevocablemente degradados.
- Las "agencias internacionales de desarrollo" de los países donantes y los "bancos internacionales de desarrollo" tienen que, urgentemente, dar una mayor prioridad en el apoyo a las iniciativas realistas para fortalecer la gobernanza de los recursos hídricos subterráneos y la gestión de los acuíferos locales. El desarrollo humano sostenible, la seguridad alimentaria y los sistemas ecológicos clave dependerán de este tipo de iniciativas.
- La "asociación profesional competente", con el apoyo de las agencias de la ONU, debe poner mayor esfuerzo en la promoción del diálogo constructivo sobre cuestiones de

política de aguas subterráneas, y en la difusión de la experiencia internacional en las mejores prácticas para la gestión y protección de los acuíferos.

A las recomendaciones de Kemper haría falta añadir la falta de un proceso de descentralización de la gestión del agua donde los usuarios finales tuvieran una mayor participación. En este sentido, algunos países en el mundo árabe que están siendo estudiados por el IWMI (International Water Management Institute) dentro de un proyecto de investigación sobre las aguas subterráneas han tratado de iniciar un proceso de cogestión de éstas, descentralizando con mayor o menor logro algunas funciones administrativas o de gestión a las comunidades locales y a los usuarios (ej. Túnez, Marruecos) (Closas y Molle, 2016).

Algunas de las recomendaciones hechas por Kemper no obstante ya se están llevando a cabo como por ejemplo los proyectos de investigación dentro de la convocatoria UPGro (Unlocking the Potential of Groundwater for the Poor). A nivel de ejemplo, unos de los autores participa como Co-Investigador Principal del proyecto “Gro for Good: Groundwater Risk Management for Growth and Development (<http://upgro.org/consortium/gro-for-good/>)” en el que se busca gestionar y mejorar la respuesta institucional a la explotación tradicional de las aguas subterráneas juntamente al aumento de la demanda por parte de la industria minera y una actividad agrícola creciente en muchas zonas de África. Por tanto, a pesar de las dificultades inherentes para superar dichos retos, existe suficiente conocimiento e infraestructuras para hacerlo. Sin embargo, la pregunta es si existe suficiente voluntad política a nivel local, regional, nacional e internacional para culminar dichos retos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Generales

- ALLEY, W.M. (2006). *Tracking U.S. groundwater reserves for the future?* Environment, 48(3), 10–25
- CHATURVEDI, M.C. (1976). *Second India studies: water*. New Delhi, Macmillan Company of India Limited.
- DÖLL, P.; LEHNER, B. & KASPAR, F. (2002). *Global modeling of groundwater recharge*. In: Proc. Third Int. Conf. on Water Resources and Environment Research (ed. by G. H. Schmitz), vol. I, 322–326. Technical University, Dresden, Germany.
- DÖLL, P. (2009). *Vulnerability to the impact of climate change on renewable groundwater resources: a global-scale assessment*. Environmental Research Letters, 4(3), 035006. doi:10.1088/1748-9326/4/3/035006
- FAO (2003b). *Groundwater Management - The Search for Practical Approaches*. Water Reports 25, Natural Resources Management and Environment Department.
- FAO (2015). *Global diagnostic on Groundwater Governance*. Special edition for WWF7.
- FAMIGLIETTI, J.S. (2014). *The global groundwater crisis*. Nature Climate Change, 4(11), 945–948. doi:10.1038/nclimate2425.
- FOSTER, S.S.D. & CHILTON, P.J. (2003). *Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, 358(1440), 1957–72. doi:10.1098/rstb.2003.1380.
- KEMPER, K.E. (2004). *Groundwater - from development to management*. Hydrogeology Journal (2004) 12:3–5.

- KUNDZEWICZ, Z.W. & DÖLL, P. (2009). *Will groundwater ease freshwater stress under climate change?* Hydrological Sciences Journal, 54(4), 665–675. doi:<http://dx.doi.org/10.1623/hysj.54.4.665>.
- KUNDZEWICZ, Z.W.; MATA, L.J.; ARNELL, N.W.; DÖLL, P.; JIMENEZ, B.; MILLER, K.; OKI, T.; SEN, Z. & SHIKLOMANOV, I. (2008). *The implications of projected climate change for freshwater resources and their management.* Hydrological Sciences Journal, 53(1), 3–10. doi:[10.1623/hysj.53.1.3](http://dx.doi.org/10.1623/hysj.53.1.3).
- MacDONALD, A.M.; BONSOR, H.C.; DOCHARTAIGH, B.É.Ó. & TAYLOR, R.G. (2012). *Quantitative maps of groundwater resources in Africa* Environmental Research Letters, 7 (2), art. no. 024009.
- MILLY, P.C.D.; WETHERALD, R.T.; DUNNE, K.A. & DELWORTH, T.L. (2002). *Increasing risk of great floods in a changing climate.* Nature, 415, 514–517.
- PEDLEY, S. & HOWARD, G. (1997). *The public health implications of microbiological contamination of groundwater.* Quarterly Journal of Engineering Geology 30 (2): 179–188.
- RICHEY, A.S.; THOMAS, B.F.; LO, M.H.; REAGER, J.T.; FAMIGLIETTI, J.S.; VOSS, K.; SWENSON, S. & RODELL, M. (2015). *Quantifying renewable groundwater stress with GRACE.* Water Resour. Res.. Accepted Author Manuscript. doi:[10.1002/2015WR017349](http://dx.doi.org/10.1002/2015WR017349)
- REPETTO, R. (1994). *The "second India" revisited: population, poverty, and environmental stress over two decades.* Washington, DC, World Resources Institute.
- TAYLOR, R.G.; TODD, M.C.; KONGOLA, L.; MAURICE, L.; NAHOZYA, E.; SANGA, H.; MacDONALD, A.M. (2013). *Dependence of groundwater resources on intense seasonal rainfall: evidence from East Africa.* Nature Climate Change, 3, 374–378 (2013).
- TRENBERTH, K.E. (2011). *Changes in precipitation with climate change.* Climate Research. 47, 1–16.
- UNITED NATIONS COMMITTEE ON ECONOMIC SOCIAL AND CULTURAL RIGHTS (2003). *General Comment No. 15. The right to water.* Geneva, Switzerland.
- UNDP - United Nations Development Program (2004). *Water Governance for Poverty Reduction - Key Issues and the UNDP Response to Millennium Development Goals.* New York.
- UNESCO-WWAP (2003). *The United Nations World Water Development Report.*
- WHYMAP & MARGAT (2008). *Large Aquifer Systems of the World.*
- Países árabes**
- AL-WESHALI, A.; BAMAGA, O.; BORGIA, C.; VAN STEENBERGEN, F.; AL-AULAQI, N. & BABAQI, A. (2015). *Diesel subsidies and Yemen politics: Post-2011 crises and their impact on groundwater use and agriculture.* Water Alternatives, 8 (2), 215–236.
- AL-ZUBARI, W. (2012). *Groundwater governance in the Kingdom of Bahrain.* PowerPoint Presentation, Regional Consultation on 'Groundwater governance in the Arab World', 8-10 October 2012, Amman.
- BANCO MUNDIAL (2003). *Republic of Lebanon: policy note on irrigation sector sustainability.* Report No.28766-LE, Agriculture and Rural Development Department, Washington DC: The World Bank.
- BANCO MUNDIAL (2007). *Making the most of scarcity: accountability for better water management in the Middle East and North Africa.* Washington DC: The World Bank.
- BRLI, AGRO CONCEPT (2012). *Gestion de la demande en eau dans les pays méditerranéens: gestion de la demande en eau – étude de cas du Maroc.*

- CHARFI, S.; ZOUARI, K.; FEKI, S. & MAMI, E. (2013). *Study of variation in groundwater quality in a coastal aquifer in north-eastern Tunisia using multivariate factor analysis*,. Quaternary International, 302, 199-209.
- CLOSAS, A. & F. MOLLE (2016). *Groundwater governance in the Arab World*. USAID internal interim project report, Sri Lanka: IWMI.
- DE CHÂTEL, F. (2014). *The Role of Drought and Climate Change in the Syrian Uprising: Untangling the Triggers of the Revolution*,. Middle Eastern Studies, 50 (4), 521-535.
- EL HEDI LOUATI, M. & BUCKNALL, J. (2009). *Tunisia's experience in water resource mobilization and management*. En Jagannathan, N.V.; Mohamed, A.S. & A. Kremer (eds.) Water in the Arab World: management perspectives and innovations, Washington DC: The World Bank, 157-180.
- EL-NAQA, A.; AL-MOMANI, M.; KILANI, S. & HAMMOURI, N. (2007). *Groundwater deterioration of shallow groundwater aquifers due to overexploitation in Northeast Jordan*. Clean, 35(2), 156-166.
- FAO (2008b). *Rapport Algérie, Etude sur la gestion des eaux souterraines dans les pays pilotes du Proche-Orient*. Bureau régional de la FAO pour le Proche-Orient.
- FAYSSE, N.; HARTANI, T.; FRIJA, A.; MARLET, S.; TAZEKRIT, I.; ZAIRI, C. & CHALLOUF, A. (2011). *Usage agricole des eaux souterraines et initiatives de gestion au Magreb: défis et opportunités pour un usage durable des aquifères*. AfDB-BAfD Note Economique.
- FRIJA, A.; CHEBIL, A.; SPEELMAN, S. & FAYSSE, N. (2014). *A critical assessment of groundwater governance in Tunisia*. Water Policy, 16, 358-373.
- GAUBI, E. (2008) *La gestion des eaux souterraines en Tunisie*. Bureau régional de la FAO pour le Proche-Orient, Food and Agriculture Organization.
- GOODE, D.J.; SENIOR, L.A.; SUBAH, A. & JABER, A. (2013). *Groundwater-level trends and forecasts, and salinity trends, in the Azraq, Dead Sea, Hammad, Jordan Side Valleys, Yarmouk, and Zarqa Groundwater basins, Jordan*. Report 2013-1061, US Department of the Interior, US Geological Survey.
- HAMMANI, A. & KUPER, M. (2008). *Caractérisation des pompages des eaux souterraines dans le Tadla, Maroc*. In Kuper, M. & A. Zairi (eds.) Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb, Actes du troisième atelier régional du projet Sirma, Nabeul, Tunisie, 4-7 juin 2007.
- HANDLEY, C. (2001). *Water stress: some symptoms and causes. A case study of Ta'iz, Yemen*. Aldershot, UK Ashgate.
- IMF (2013). *Case studies on energy subsidies reform: lessons and implications*. Washington DC: International Monetary Fund.
- KORFALI, S.I. & JURDI, M. (2010). *Deterioration of coastal water aquifers: causes and impacts*. European Water, 29, 3-10.
- KUPER, M.; HAMMANI, A.; CHOHN, A.; GARIN, P. & SAAF, M. (2012). *When groundwater takes over: linking 40 years of agricultural and groundwater dynamics in a large-scale irrigation scheme in Morocco*,. Irrigation and Drainage, 61(S1), 45-53.
- MASCIOPINTO, C. (2013). *Management of aquifer recharge in Lebanon by removing seawater intrusion from coastal aquifers*. Journal of Environmental Management, 130, 306-312.
- MORILL, J. & SIMAS, J. (2009). *Comparative analysis of water laws in MNA countries*. In Jagannathan, N.V.; Mohamed, A.S. & A. Kremer (eds.) Water in the Arab World: management perspectives and innovations, Washington DC: The World Bank, 285-334.

NWSSIP (2008). *Update of the National Water Sector Strategy and Investment Programme*. The NWSSIP Update, Republic of Yemen, December 17th, 2008.

REDECKER, G. (2007). *NWSSIP 2005-2009 Two years of achievements ... and an outlook – A donor's perspective*. KfW Office Sana'a, Yemen.

UNDP (2013). *Water governance in the Arab Region: managing scarcity and securing the future*. New York, USA: UNDP.

VAN STEENBERGEN, F. & EL HAOURI, N. (2010). *The blind spot in water governance: conjunctive groundwater use in MENA countries*. En Bogdanovich S. & L. Salame (eds.) *Water policy and law in the Mediterranean: an evolving nexus*, Serbia: Faculty of Law Business Academy Novi Sad, 171–189.

WADA, Y.; VAN BEEK, L.P.H. & BIERKENS, M.F.P. (2012) *Nonsustainable groundwater sustaining irrigation: a global assessment*. Water Resources Research, 48 (6), 1-18.

WARD, C. (2015). *The water crisis in Yemen: managing extreme water scarcity in the Middle East*. London: IB Tauris.

África subsahariana

ALTCHENKO, I. & VILLHOLTH, K. (2015). *Mapping irrigation potential from renewable groundwater in Africa – a quantitative hydrological approach*. Hydrology and Earth System Sciences, 19, 1055-1067.

CHAKAVA, Y.; FRANCEYS, R. & PARKER, A. (2014). *Private boreholes for Nairobi's urban poor: the stop-gap or the solution?* Habitat International, 43, 108-116.

CHOKKAKULA, S. & GIORDANO, M. (2013). *Do policy and institutional factors explain the low levels of smallholder groundwater use in Sub-Saharan Africa?* Water International, 38(6), 790-808.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; MISRA, S. & GARDUNO, H. (2010). *Urban Groundwater Use Policy: Balancing the benefits and risks in Developing nations*. Strategic Overview Series No.3, GW-MATE, Washington DC: The World Bank.

GIORDANO, M. (2006). *Agricultural groundwater use and rural livelihoods in sub-Saharan Africa: a first-cut assessment*. Hydrogeology Journal, 14, 310-318.

JACOBSEN, M.; WEBSTER, M. & VAIRAVAMOORTHY, K. (eds.) (2012). *The future of water in African cities. Why waste water?* Washington DC: The World Bank.

MacDONALD, A.M.; BONSOR, H.C.; CALOW, R.C.; TAYLOR, R.G.; LAPWORTH, D.J.; MAURICE, L.; TUCKER, J. & DOCHARTAIGH, B.E.Ó (2011). *Groundwater resilience to climate change in Africa*. British Geological Survey, OR/11/031, Keyworth, Nottingham: UK.

MacDONALD, A.M.; BONSOR, H.C.; DOCHARTAIGH, B.E.Ó & TAYLOR, R.G. (2012). *Quantitative maps of groundwater resources in Africa*. Environmental Research Letters, 7, 1-7.

PAVELIC, P.; GIORDANO, M.; KERAITA, B.; RAMESH, V. & RAO, T. (eds.) (2012). *Groundwater availability and use in Sub-Saharan Africa: a review of 15 countries*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

VILLHOLTH, K.G.; GANESHAMOORTHY, J.; RUNDBLAD, C.M. & KNUDSEN, T.S. (2013). *Smallholder groundwater irrigation in sub-Saharan Africa: an interdisciplinary framework applied to the Usangu plains, Tanzania*. Hydrogeology Journal, 21(7), 1481-1995.

WANG, L.; DOCHARTAIGH, B.O. & MACDONALD, D. (2010). *A literature review of recharge estimation and groundwater resource assessment in Africa*. British Geological Survey Internal Report, IR/10/051, Keyworth, Nottingham: UK.

India

CGWB (2013a). *Ground Water Year Book – India 2012-2013*. Central Ground Water Board, Ministry of Water Resources, Government of India.

DAS, S.V.G. & BURKE, J. (2013). *Smallholders and sustainable wells. A retrospect: participatory groundwater management in Andhra Pradesh (India)*. Food and Agriculture Organization (FAO), Rome: FAO.

MOLLE, F. (2013). *Foreword*. In Aubriot, O. (ed.) *Tank and well irrigation crisis: spatial, environmental and social issues. Cases in Puducherry and Villupura, Districts (South India)*, New Delhi, India: Concept Publishing Company, v-vii.

REDDY, V.R. (2003). *Costs of Resource Degradation Externalities: A Study of Groundwater Depletion in Andhra Pradesh*. Working paper No. 49, Centre for Economic and Social Studies, Hyderabad.

SHAH, T. (2007a). *The groundwater economy of South Asia: an assessment of size, significance and socio-ecological impacts*. In Giordano, M. & K. Villholth (eds.) *The agricultural groundwater revolution: opportunities and threats to development*, Wallingford, Cambridge, Massachusetts: CABI, 7-36.

SHAH, T. (2009). *Taming the anarchy: groundwater governance in South Asia*. Washington DC: RFF Press.

SUNDARAJAN, K.; PATEL, A.; RAYCHOUDHURY, T. & PUROHIT, C. (2009). *Groundwater Exploitation in India, Environmental Impacts and Limits to Further Exploitation for Irrigation*. In, Upali A. Amarasinghe and R.P.S. Malik (eds.) *India's water future: Scenarios and issues*. Strategic Analysis of National River Linking Project of India, Series 2, Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 197-216.

UNEP AND GEAS (2012). *A glass half empty: regions at risk due to groundwater depletion – reproduced from*. United Nations Environment Programme (UNEP) Global Environmental Alert Service (GEAS), Environmental Development, 2, 117-127.

Pakistán

JACOBI, H.; MURGAI, R. & REHMAN, S.U. (2001). *Monopoly power and distribution in fragmented markets: the case of groundwater*. Policy Research Working Paper, No. 2628, The World Bank, Washington DC: The World Bank Group.

MEINZEN-DICK, R. (1996). *Groundwater markets in Pakistan: participation and productivity*. Research Report 105, International Food Policy Research Institute, Washington DC, USA: IFPRI.

QURESHI, A.S.; GILL, M.A. & SARWAR, A. (2008). *Sustainable groundwater management in Pakistan: challenges and opportunities*. Irrigation and Drainage, 59(2), 107-116.