

## **Aprovechamiento de los Depósitos Subterráneos de Agua**

El descubrimiento de nuevas reservas de agua subterránea en Chad, El Salvador, Grecia, Israel, Sudán, Siria, Turquía, la República Árabe Unida y otros lugares, significa un paso adelante en la lucha constante del hombre por encontrar cada vez más agua.

Por ejemplo, un grupo de expertos de El Salvador y de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), trabajando conjuntamente por encargo del Fondo Especial de las Naciones Unidas, han explorado el Valle del Río Grande de San Miguel, en busca de reservas subterráneas de agua, encontrando la suficiente para regar 40.000 hectáreas.

Otro equipo de especialistas de Siria y de la FAO ha encontrado, bajo el suelo semidesierto de Jezira, al noroeste de Siria, agua suficiente para regar cien mil hectáreas. Un equipo mixto Grecia-FAO ha hecho recientemente un estudio de las aguas subterráneas de dicho país, llegando a la conclusión de que con las reservas existentes podría regarse una superficie análoga a la que se riega actualmente con aguas superficiales.

El agua dulce escasea cada día más en todo el mundo. Las ciudades, las explotaciones agrícolas y las industrias se disputan toda la disponible. En muchas regiones, el caudal de agua necesaria por habitante se duplica con cada generación. Pero, en el subsuelo hay inmensas reservas, pocas veces aprovechadas.

Existe una gran demanda de agua superficial, aparte de su función de generadora de energía. La desalificación del agua del mar está a punto de ser una posibilidad económica, pero no será una solución para los países sin costas, por lo que los geólogos se preocupan cada vez más por localizar las que hay bajo el suelo. Las aguas subterráneas o freáticas, como los geólogos las llaman, se encuentran muchas veces bajo las superficies más pedregosas y erosionadas. Una vez localizadas, su aprovechamiento puede ser incluso menos costoso que el de las aguas superficiales.

Casi la cuarta parte de las tierras de este mundo está constituida por desiertos áridos o pedregosos y llanuras erosionadas. En las zonas

de baja precipitación fluvial del Africa, el Asia y la América Latina, la búsqueda de agua tiene ya siglos. La existencia de agua para beber, para el ganado y para los cultivos, es asunto de vida o muerte. Por todo el mundo, los geólogos especializados están empeñados en una búsqueda febril de aguas subterráneas. Examinan los estratos rocosos y después, si parece haber posibilidades, comienzan las investigaciones geofísicas y la perforación de pozos para comprobar la existencia de agua.

### *El agua subterránea en la antigüedad y hoy día*

En Europa y América del Norte las aguas freáticas han sido objeto de detallados estudios durante los últimos cincuenta años. Se extraen a un ritmo cada vez más rápido para saciar la sed pantagruélica del hombre moderno. Las industrias necesitan agua; la necesitan también los habitantes de las ciudades y aún más los de los suburbios para regar las verdes praderas que rodean sus casas. Y, por supuesto, los agricultores, consumen grandes cantidades sobre todo para las preciadas cosechas de regadío.

Más del 90 por ciento del agua necesaria para el abastecimiento de Dinamarca y de Bélgica procede del subsuelo; en la República Federal de Alemania y en los Países Bajos la cifra correspondiente es del 75 por ciento. En Suecia, el 15 por ciento de las necesidades totales de agua se satisface con aguas subterráneas almacenadas en "eskers", canales rellenos de arena y grava de origen glacial.

En los Estados Unidos el consumo de agua ha aumentado hasta el punto de que su escasez está dificultando el desarrollo en algunas regiones. El consumo total viene a ser de unos 4.000 litros diarios por habitante. Solamente para usos domésticos se gastan 400 litros por persona. Se extraen del subsuelo 85 millones de metros cúbicos anuales y se perforan 500.000 nuevos pozos todos los años. La quinta parte del agua que se consume en el país procede de las capas freáticas.

Los pueblos que habitan en regiones áridas hace mucho tiempo que saben las posibilidades que tienen bajo sus pies. Siendo escasa el agua, se consume en cantidades muy inferiores a las de las regiones más favorecidas. Por ejemplo, el consumo total agrícola, industrial y doméstico es en el Africa tropical de 12 metros cúbicos anuales por persona, mientras que pasa de 400 metros cúbicos en Europa Occidental y de 800 en los Estados Unidos el consumo por persona y año.

En el Cercano y Medio Oriente se utilizan galerías subterráneas para recoger las aguas freáticas procedentes, las más de las veces, de los depósitos aluviales que bordean las cadenas montañosas. Solamente en Irán hay un mínimo de 30.000 galerías de éstas, algunas de las cuales tienen 150 kms. de longitud.

La ciudad de Kayseri, en Turquía, por ejemplo, está abastecida de agua potable por una galería subterránea de cinco kilómetros de longitud que recoge y descarga agua potable a razón de trece mil metros cúbicos diarios. Fue construida por los sultanes de la dinastía

Seljuk, en el siglo X. Hoy, la ciudad tiene menos agua que entonces, si bien podría remediar su situación fácilmente reaccionando toda la vieja red de galerías subterráneas. Marrakesh y Teherán son dos ciudades modernas abastecidas también por el sistema de galerías subterráneas. El abastecimiento de aguas del Nínive es del mismo tipo; Hamadán cayó en el año 625 a. J. C. cuando los medas destruyeron los conductos que abastecían de agua a la ciudad.

En realidad, todo el Norte de Africa y el Oriente Medio recurren a las aguas freáticas como fuente principal de abastecimiento. Toda el agua de Arabia Saudita procede del subsuelo; en Túnez, el 95 por ciento; en Marruecos, el 75 por ciento y en Israel el 80. Más del 90 por ciento de la población del Africa meridional obtiene el agua que necesita recurriendo a las reservas subterráneas.

En el norte de la India se están perforando más y más pozos para utilizar las reservas subterráneas. Se temió que disminuyeran las aguas superficiales con el uso creciente de las freáticas, pero no ha sucedido así. Hay unos 15.000 pozos dispersos por toda la llanura del Ganges que producen un caudal de 250 metros cúbicos por segundo.

Los 100.000 habitantes del valle de San Miguel, en El Salvador, podrán duplicar sus cosechas gracias a las aguas subterráneas.

Expertos de El Salvador y de la FAO, trabajando juntos en un proyecto del Fondo Especial, han encontrado aguas freáticas suficientes para regar una superficie cuatro veces mayor que las 20.000 hectáreas actualmente en cultivo. Sin embargo, con eso, la reserva permanece intacta, pues sólo se extrae el agua que, procedente de las lluvias, va ingresando en el depósito subterráneo y que antes se desperdiciaba escurriendo al mar.

### *¿Qué son las aguas freáticas?*

Parece algo misterioso eso de que bajo la superficie de la tierra, a cientos de metros de nuestros pies, haya millones de litros de agua; y aún más misterioso el que, al perforar para extraerla fluya incesantemente a la superficie. En primer lugar, ¿cómo llega allí el agua?

Las aguas freáticas no son ni más ni menos que agua de lluvia que se ha filtrado por la tierra hasta llegar a un estrato impermeable que le impide seguir bajando. Todas las capas rocosas contienen cavidades porosas que varían de menos del 1 por ciento, en la roca densa impermeable, al 50 por ciento en la grava, en la roca porosa o en la fracturada.

La imagen popular de impetuosas corrientes subterráneas o de vastos lagos subterráneos en cuyas orillas hay una extraña vida, no humana, no tiene nada que ver con la realidad. Es pequeño el porcentaje de las aguas freáticas que se encuentra en cavernas —generalmente fallas en un terreno de lava o piedra caliza. Lo normal es que el agua se encuentre saturando la tierra y la roca, constituyendo lo que se llama el nivel freático.

El nivel freático sube y baja con las estaciones. En las temporadas de lluvias aparecen pedazos inundados o empantanados, y, a veces, manantiales que brotan mágicamente en medio de las praderas. Unas veces, estas aguas freáticas se unen con los arroyos y van a aumentar directamente su caudal: otras, penetran directamente por el litoral en el océano.

Las aguas subterráneas constituyen, pues, un nivel freático intercomunicado, cuya profundidad varía de acuerdo con las condiciones. Existen a veces barreras subterráneas naturales o artificiales que interrumpen esta capa freática.

Hay casos en que parte de dichas aguas aparecen separadas del cuerpo principal por una barrera rocosa impermeable, formando lo que se llaman "aguas subterráneas aisladas".

Figuran entre las aguas freáticas las "fósiles", "connatas" o aguas presos, que son aguas originalmente marinas o de lagos que el movimiento de las rocas dejó hace mucho tiempo encerradas en el subsuelo y que suelen ser muy salinas. También figuran las llamadas "aguas juveniles", que son la exudación condensada del magma caliente de la tierra que está en niveles más profundos.

#### *Las aguas artesianas, forma más económica de las aguas subterráneas*

La forma más espectacular de presentarse las aguas subterráneas, la que buscan siempre de preferencia los hidrólogos, son las aguas artesianas. Se trata de aguas subterráneas que se encuentran a presión entre capas rocosas impermeables. Cuando se perfora, la presión las hace subir por sí solas a la superficie y, con frecuencia, el volumen y la presión es tal que pueden continuar fluyendo indefinidamente.

El nombre "artesiano" viene de un pozo surgente o brotante excavado en Lilliers, Francia, el año de 1126, en la provincia septentrional de Artois, que se llamaba antiguamente Artesium. Fue precisamente este tipo de aguas las que encontró recientemente, en la región noroccidental de Siria, un equipo mixto del Gobierno sirio y de la FAO, cuando ejecutaba un proyecto del Fondo Especial. Descubrió una reserva muy grande de aguas artesianas bajo la vasta llanura de Jezira, entre los ríos Tigris y Eufrates. Se calcula que puede llegar a rendir 120 metros cúbicos por segundo, lo que basta para regar 100.000 hectáreas. De realizarse, sería el mayor regadío del mundo hecho con aguas freáticas.

Dicha reserva podrá proporcionar agua potable para los pueblos más importantes, así como para los aguaderos que utilizan las tribus nómadas de la región. Las aguas artesianas tienen aquí particular importancia porque el agua de riego bombeada puede costar diez veces más que el agua de pozos artesianos.

El problema principal en el caso de las aguas subterráneas, y especialmente en el de las artesianas, es el de mantener un rendimiento constante. Puede calcularse la cantidad de agua que, procedente de la cuenca de captación, entra en el depósito, y si la salida es mayor, habrá que alimentar el depósito con otras aguas para mantener indefinidamente el rendimiento a la misma presión.

En el caso de las aguas artesianas puede ser necesario hacer pozos de extracción y otros de inyección, pues a veces, el agua artésiana se encuentra a un nivel más bajo que el del mar y habría infiltraciones de agua salina, a menos que se utilicen pozos inyectoros para crear una barrera de agua dulce entre el depósito y la zona salina.

En muchos sitios, la demanda constante y creciente de agua ha hecho que baje el nivel freático. Entonces se secan los pozos o hay que excavar a mayor profundidad. Así sucedió hace algunos años en la Argentina. En el valle de Santa Clara (California) el exceso de extracción ha reducido la presión del agua subterránea.

El número excesivo de pozos excavados durante el siglo XIX en la cuenca artésiana de Londres fue causa de que, en 1938, el nivel del agua descendiera hasta quedar a unos 100 metros bajo el nivel del mar, con lo que las aguas salobres del Támesis contaminaron el depósito y hubo que abandonar los pozos que había en toda una faja de 40 kilómetros.

El rendimiento de los pozos artesianos puede ser muy alto. Los excavados en la roca cretácea de High Wycombe, en el Reino Unido, por ejemplo, rinden 700 metros cúbicos por hora; un pozo artésiano de Lusaka, en Rodesia del Norte, da 300 metros cúbicos por hora.

### *Rendimiento seguro, almacenamiento e infiltración*

El rendimiento seguro de una capa acuífera o depósito de aguas freáticas, es el volumen de agua que puede extraerse del mismo, año tras año, sin temor de agotarlo finalmente. El problema de mantener el rendimiento seguro está recibiendo cada vez mayor atención. Igual que el hombre puede agotar los bosques, el petróleo y los minerales, también puede agotar las reservas de agua. Hoy día, el relleno natural de los depósitos con el agua de lluvia se complementa mediante el artificial. Por ejemplo, se pueden canalizar las inundaciones hacia zonas permeables donde el agua penetra poco a poco en la tierra, restableciendo así las reservas subterráneas y almacenando el agua de las inundaciones en el subsuelo para ser utilizada en el futuro.

Se están haciendo algunos experimentos interesantes en lo que al acopio de aguas subterráneas se refiere. Un equipo israelita, con consultores de la FAO, está trabajando en un proyecto del Fondo Especial para bombear aguas ligeramente salobres y llevarlas al de-

sierto del Negev para fines de riego. Se inyectan, por el camino, en depósitos de agua dulce. La mezcla resultante, de baja salinidad, se vuelve después a bombear y se conduce a la segunda estación de inyección y bombeo. El fin que se persigue es reducir el contenido medio de sal hasta el punto en que pueda servir para el riego.

Aún no sabemos cuáles son las reservas freáticas del mundo. Apenas hemos empezado a rastrear el enorme volumen de las que hay en las profundidades de la tierra; y apenas si hemos empezado a darnos cuenta del peligro de agotar prematuramente dichas reservas.

Es práctica normal actualmente el combinar los programas de perforación de pozos con estudios hidrológicos que calculan el volumen total de aguas que ingresa en los depósitos subterráneos y la cantidad de agua que puede extraerse permanentemente.

Es mucha el agua subterránea que se desperdicia hoy día que podría ser aprovechada para el riego. En Grecia, por ejemplo, un equipo mixto constituido por expertos del gobierno griego y de la FAO hizo una investigación sobre los recursos de aguas freáticas del país y encontró que eran suficientes para regar una extensión igual a la que actualmente se riega con aguas superficiales.

Estudió el equipo dieciséis zonas diferentes y encontró que había cantidades enormes de agua, almacenada en depósitos naturales alimentados regularmente por las lluvias invernales, que escapaba al mar sin ser aprovechada. De hecho, se utilizaba menos de un 10 por ciento del total de aguas freáticas disponibles.

Se comprobó que las aguas subterráneas fluían libremente a través de la piedra caliza común en la región, aflorando en el litoral, como manantiales, muchas veces submarinos. Se calculó que, de este modo, se desperdician 40.000 litros de agua por segundo.

“Así se pierden en muchas partes las valiosas aguas subterráneas, mientras que, naturalmente, en la superficie se multiplican dichas pérdidas”, dice el Sr. Clyde Houston, un ingeniero hidráulico californiano que trabaja como consultor de la FAO. “Viajando por el Oriente Medio pueden verse países que, en 10 años, han duplicado la superficie de regadío”, agrega el Sr. Houston. “En la misma región, pueden verse también países que, en el mismo período, han perdido para la producción más tierras de las que han ganado. Bosques, huertos y trigales se han secado por falta de agua, por la mala calidad de la misma o por su aplicación impropia. Y esto es trágico porque, en la mayor parte del mundo hay agua suficiente no sólo para mantener la actual producción agrícola y forestal, sino para aumentarla.

Es también mucha el agua subterránea que se pierde al fluir o al infiltrarse directamente a lagos y mares, o al evaporarse de los depósitos que están cerca de la superficie. En Sudáfrica se ha visto que en las regiones desérticas, puede perderse hasta el 95 por ciento del agua de lluvia por evaporación. Hay que idear métodos para recoger el agua de lluvia sin dejar que se hunda en el desierto hasta que haya

un volumen suficiente para que pueda filtrarse y almacenarse bajo tierra.

Es Israel, por ejemplo, donde es grande la falta de agua, las aguas dulces subterráneas fluyen continuamente hacia el mar, perdiéndose en él a lo largo de la costa. Las bombas de tierra adentro no deben extraerla toda, pues si así lo hicieran, se invertiría el flujo subterráneo y entraría el agua salada a mezclarse con la existencia en los acuíferos.

Sin embargo, un equipo de técnicos israelitas, asesorado por consultores de la FAO, está ejecutando un proyecto del Fondo Especial cuyo fin es aprovechar esas aguas subterráneas costeras dulces, recuperándolas en el último momento, después de haber desempeñado su función de barrera. Se están probando diferentes tipos de colectores. Con este método el abastecimiento de agua del país podrá aumentar un 6 por ciento, y la superficie de regadío en cerca de un 11 por ciento.

### *Las aguas subterráneas pueden cambiar la forma de vida*

En todo el mundo existen aguas freáticas. Un paisaje triste y seco por fuera no indica siempre lo que hay debajo. En el Sahara, donde los pluviómetros llevan años sin recoger una gota de lluvia, existe un vasto sistema intercomunicado de cuencas artesianas.

En el Africa noroccidental —dos quintas partes del continente— hay ocho millones de kilómetros cuadrados, considerados áridos o semiáridos, pero debajo hay enormes depósitos de sedimentos, el más antiguo o importante de los cuales es el llamado “Intercalar continental”. Tiene de 50 a 500 metros de profundidad y está atravesado por cauces viejísimos de ríos y torrentes. Se encuentran fósiles de peces, reptiles, árboles. Hay incluso aguas “fósiles”, allí depositadas desde hace miles de años, alimentadas lentamente por corrientes subterráneas.

En realidad, debajo de toda esa región hay un vasto sistema de acuíferos. El agua procedente de las nieves y las lluvias del Atlas penetra en él y fluye lentamente, bajo el suelo, hacia las areniscas de Nubia, en Egipto. Se ha calculado que el Intercalar de lo que fue Sahara francés podría rendir 40 metros cúbicos por segundo, mientras que actualmente no se extraen más de 1.500 litros por segundo.

“Las formaciones areniscas del Intercalar continental han de permitir, probablemente, la explotación de vastas superficies hoy desérticas, cuando las prolongadas y pacientes investigaciones que se están realizando hayan revelado su estructura”, dijo el señor Georges Drouhin, Director del Servicio Hidráulico de Argelia, en una reunión de la UNESCO sobre zonas áridas.

Las técnicas de la geología petrolera han sido de gran ayuda para la geología de las aguas subterráneas, facilitando la localización de las capas freáticas. También los métodos de perforación y bombeo perfeccionados por la industria del petróleo y el gas natural han sido adaptados a la explotación de las aguas subterráneas.

En algunos sitios se siguen todavía abriendo a mano pozos de hasta 150 metros de profundidad, pero en la actualidad, lo normal son las perforaciones. El método más moderno combina un taladro rotatorio con circulación de aire golpeado a razón de 600 golpes por minuto con un martillo de aire comprimido. Probablemente se adelantará más utilizando el taladro de turbina de aire que ha adoptado recientemente la industria del petróleo. Las bombas modernas pueden extraer varios cientos de litros por segundo, mientras que antes, con energía humana o animal, no se llegaba a extraer ni un litro.

Los antiguos chinos abrían pozos por un sistema de perforación por choque, utilizando cañas de bambú y pólvora. Se tardaban varias décadas en abrir un solo pozo.

### *Perspectivas de las aguas subterráneas*

“Limitar el desperdicio de aguas subterráneas que escurren directamente a mares y lagos, es, tal vez, la labor más importante que tienen ante sí los hidrólogos en este Decenio del Desarrollo, de las Naciones Unidas” —afirma el señor Robert Ambroggi, hidrogeólogo de la FAO. “Evitando ese desperdicio de aguas subterráneas, solamente en la región del Mediterráneo se podría disponer de unos 100 metros cúbicos adicionales de agua por segundo. Además, está el desperdicio debido a la infiltración de las aguas superficiales en el desierto, que se hacen salobres en pocos años y las enormes pérdidas que produce la evaporación de aguas cercanas a la superficie”.

“El próximo siglo será testigo del aprovechamiento de las aguas subterráneas, como el pasado ha sido el de la construcción de presas para almacenamiento de aguas superficiales”, dice el señor Ambroggi. “Los depósitos subterráneos naturales suelen ser mucho mayores que los construidos por el hombre en la superficie, y tienen además la ventaja de que la contaminación es menor”.

“Sabemos hoy lo bastante para predecir con seguridad el desperdicio actual y el aprovechamiento potencial de los depósitos subterráneos. Estamos empezando a aplicar las técnicas que nos permiten saber los años que tienen los depósitos. Los trazadores radiactivos, permiten averiguar el camino que siguen las corrientes subterráneas y saber el caudal que ingresa naturalmente en los acuíferos. Lo acabamos de hacer en dos proyectos del Fondo Especial que está ejecutando la FAO en Turquía y Grecia”.

“Apenas si empezamos a darnos cuenta del enorme volumen que tienen estos recursos subterráneos” —dice. “Por ejemplo, existen depósitos de aguas subterráneas intercomunicados bajo los suelos de Argelia, Libia y la RAU, Arabia Saudita, Sudán, Chad, Níger, Nigeria y el Camerún. El potencial de algunos de estos depósitos es tan grande que, igual que explotamos las reservas de petróleo y gas a sabiendas de lo inminente que es el uso de la energía atómica, debemos utilizar esas reservas de agua aun a sabiendas de que ya es prácticamente fac-

tible desalinizar el agua del mar. En Arabia Saudita, por ejemplo, se tardarían mil años en agotar las aguas subterráneas extrayendo un caudal de 100 metros cúbicos por segundo”.

“Podemos esperar tres hechos importantes en los decenios venideros” —concluyó diciendo. “Primero, un uso creciente de las aguas freáticas para complementar y, en algunos casos, sustituir las aguas superficiales. En segundo lugar, un interés mayor por las aguas salobres o ligeramente salinas, y por los medios necesarios para convertirlas en agua dulce. Finalmente, la desalificación satisfactoria del agua de mar, lo cual resolverá el problema de los países que bordean los océanos”.