

El origen de las aguas subterráneas: El tremendo error milenario^(*)

Por ALBERTO BENITEZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

El presente artículo de divulgación sólo pretende pasar una revista histórico-esotérica, aunque en modo alguno exhaustiva, a las corrientes de pensamiento originadas por este tema.

El enunciado del error puede resumirse: «El agua que procede de la atmósfera (en forma de lluvia, nieve, granizo o rocío) es absolutamente insuficiente para alimentar los abundantes manantiales subterráneos que tan hermosamente afloran a la superficie. Es ridículo sólo pensarlo».

¡Con lo poquísimo que hubiese costado comprobarlo con unas cuantas vasijas prehistórico-pluviométricas en la cuenca alimentaria de un buen manantial! (¡El ensayo tuvo que esperar dos o tres mil años!).

Es realmente asombroso que los relativamente importantes avances en el manejo del agua superficial de los ingenieros árabes y romanos, —de los que tantas muestras hay en España,— pudieran tan ligeramente ignorar la formulación de una teoría plausible del origen de las aguas subterráneas tan vitalmente importantes para el hombre.

Los tres primeros pasos del método científico que aprendemos en el bachillerato son: observación crítica, establecimiento de interrogantes, formulación de una teoría. En el tema del origen de las aguas subterráneas ahí nos quedamos. Un racimo de teorías diversas, —algunas realmente ingeniosas,— pero, prácticamente, nada más. Pasaron milenios hasta darse el paso vital siguiente del método científico: **experimentación y medida.**

Kepler decía: «Medir es saber». Y Lord Kelvin: «Sólo se sabe lo que puede expresarse en cifras». No parece que, en este tema, pensarán así los siguientes filósofos.

¿Cuáles pueden haber sido las causas de este tremendo error inicial de considerar que la re-

carga atmosférica era totalmente insuficiente para justificar los caudales subterráneos?

A mi juicio fundamentalmente dos:

- a) Que fuera precisamente el Padre Nilo, tan absolutamente atípico, el gran río más próximo y más observado de la antigüedad.
- b) El enorme peso específico que tuvieron, durante muchos siglos, las teorías de pensadores del calibre de Tales, Platón y Aristóteles, —por citar sólo los más conocidos—.

Hay que admitir que, desde luego, la contemplación del Nilo desde el Egipto faraónico daba muy poco pie a la consideración de la teoría de recargas subterráneas desde la atmósfera. Egipto era simplemente, un desierto atravesado por un caudaloso río que daba la vida a un país con una pluviometría de sólo 42 mm al año, y temperaturas medias en verano de unos 30° C, y en invierno de unos 15° C. En estas condiciones, verdaderamente, la hipótesis más reconfortable era la de darle al río un origen divino. El río Nilo nace en Burundi (Kasumo), luego vierte sus aguas en el lago Victoria con el nombre de Canal Kagera. Este canal Kagera está, siguiendo el curso del río, a unos 6.700 km de su desembocadura y a unos 2° de latitud Sur, en plena zona ecuatorial; pero, naturalmente, entonces nadie podía saberlo.

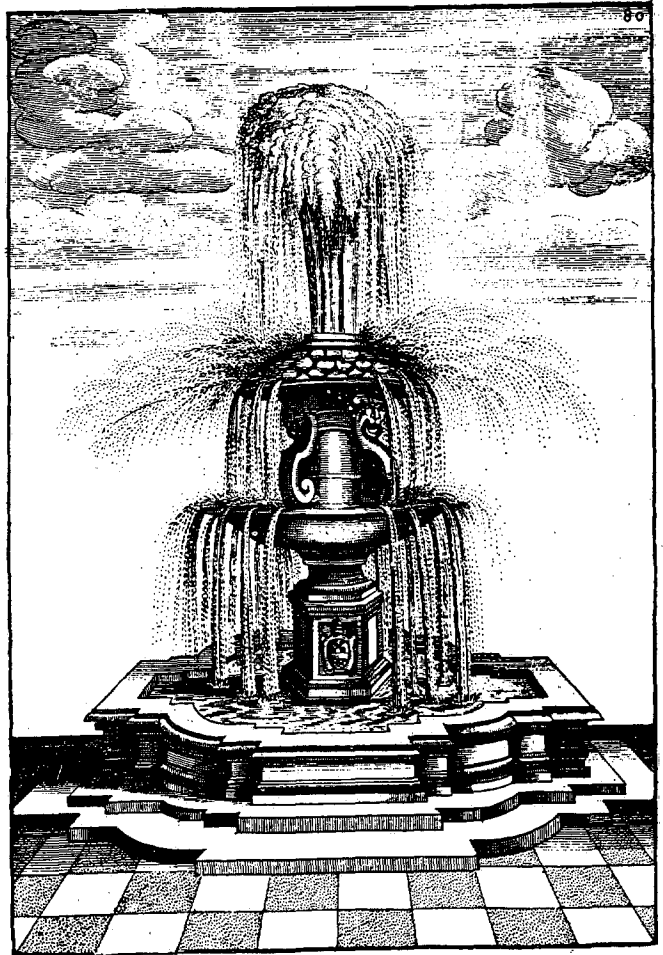
(Incidentalmente, debe decirse que no hace mucho tiempo, 1958, se ha descubierto mediante estudios con isótopos radioactivos, (tritio) la existencia de una enorme corriente subterránea que transcurre aproximadamente bajo el cauce superficial del Nilo, cuyo caudal se estima en unas seis veces mayor que el caudal superficial del río). Herodoto, el gran cronista y viaje-

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de julio de 1989.

ro, visitó Egipto hacia el año 450 a.J. Además de gran viajero parece ser que Herodoto era un hombre presuntuoso y endiosado que tomaba con infinito desdén las opiniones de los demás. Así, llegó a la conclusión que Egipto era regado, un don del río. Es decir, que primero estaba sólo el río que, donando sus fértiles depósitos de limo a la tierra, creó Egipto. Antes sólo había un mar conectado con el mar Rojo, pero el río fue llenándolo de sedimentos hasta constituir el país. Esto ocurrió: «en edades que transcurrieron antes de que yo naciera, creadas por el gran río Nilo, que ocasiona grandes cambios». Parece que cuando Herodoto explicó a los egipcios lo que pasaba en Grecia, donde no había Nilo, aquellos se quedaron horrorizados y compadecidos al enterarse de que sólo la lluvia era la que alimentaba los campos griegos, sin ningún imprescindible Nilo. Incidentalmente citaré aquí una frase de Herodoto, que siempre me ha impresionado: «Cuando yo visite un reino solo de caballos, sus dioses también serán caballos.»

Tales de Mileto (hacia 600 a.J.) fue uno de los primeros pensadores en prestar atención a la interrelación agua-tierra. En este aspecto, podría considerarse como el primer hidrogeólogo, sólo que, en su caso, ponía la geo encima de la hidro. Parece que influenciado por las creencias babilónicas de que antes de la creación del mundo todo era agua y que Dios extendió un tapete de tierra, es decir un disco plano de tierra flotando en el agua, concluyó que toda la tierra se había formado a partir del agua. Verdaderamente, si se piensa que él conocía los gigantescos deltas del Nilo y del Eufrates la hipótesis no parece tan descabellada.

Platón nació en el año 428 a.J., en los comienzos de las guerras del Peloponeso. Era hijo de una familia aristocrática y pudiente, con buenos contactos en el gobierno de Atenas. Era joven cuando Atenas fue derrotado por Esparta y él atribuyó esta derrota a la democracia, que su posición social y sus conexiones familiares hacían despreciable. También las influencias puramente filosóficas de Platón (Pitágoras, Parménides, Heráclito y Sócrates) habían de predisponer el ánimo de Platón hacia Esparta. Parecía ser, claramente «de derechas».



Algunos de los puntos de vista de Platón son:

La Bondad y la Realidad son eternas; el mejor gobierno será aquel que se aproxime lo más posible a las condiciones celestiales. Debe tener un mínimo de cambios y un máximo de perfección estática y sus gobernantes deben ser aquellos que mejor entienden la Bondad Eterna.

Para ser un buen gobernante hay que conocer la Bondad y sólo pueden conseguirlo con una combinación de disciplina intelectual y moral. Los que no tienen esa disciplina y participan en el gobierno inevitablemente lo corromperán.

Se necesita una gran educación para ser un buen gobernante. Sólo con mucha educación se alcanza la sabiduría. La sabiduría exige una gran cantidad de tiempo libre; por lo tanto, un hombre que ha de trabajar para subsistir difícilmente podrá alcanzar la necesaria dosis de

sabiduría. La parte fundamental de la sabiduría es la geometría; por lo tanto, Platón enseñaba al príncipe Dionisio, hijo del tirano de Siracusa, gran cantidad de geometría para que el príncipe llegara a ser un buen rey.

El mundo, por ser sensible, no puede ser eterno y tiene que haber sido creado por Dios. Puesto que Dios es bueno hizo el mundo según modelo de lo eterno; como no tenía celos, quería que todo fuera lo más parecido posible a El. «Dios deseaba que todas las cosas fueran buenas, y nada malo, (en cuanto fuera posible)». Dios puso inteligencia en el alma, y en el cuerpo. Hizo el mundo entero como una criatura que tuviera alma e inteligencia. Sólo hay un mundo, no muchos como habían pensado algunos presocráticos. El mundo está formado por cuatro elementos: fuego, aire, agua y tierra, cada uno de los cuales está en proporción continua respecto al siguiente, es decir, el fuego es al aire lo que el aire es al agua y lo que el agua es a la tierra. Dios utilizó estos cuatro elementos al construir el mundo y, por lo tanto, es perfecto y no está sujeto al envejecimiento o a la enfermedad. Es armónico en sus proporciones, lo que le produce tener el espíritu de la amistad y por lo tanto el no poder ser disuelto, excepto por Dios. Al ser perfectos los cuatro elementos que componen el mundo, Platón descubrió su identidad con los cuerpos más perfectos existentes entonces: los poliedros regulares. Así, el tetraedro, con sus picos flameantes, es el fuego. Como la luz es una forma del fuego, un rayo de luz es una hilera de tetraedros pequeñísimos moviéndose en línea recta a gran velocidad; lo que diferencia los colores del rayo luminoso es el tamaño de los tetraedros y la velocidad a la cual se mueven. El octaedro, apuntando en varias direcciones es, evidentemente el aire; el cubo, tan macizo, plano y estable es la tierra, ¿y qué va a ser el icosaedro, tan redondito y gracioso, representación pura de la ley de Pascal?: es el agua. Y ¿el dodecaedro, tan bello, imponente y majestuoso?: es el Cielo, es la Divinidad, es Dios.

Aunque hay algunas reservas al respecto, parece que Platón aceptaba la existencia de un enorme mar subterráneo: el mar Tártaro. Este era un inmenso abismo que abarcaba toda la tierra.

El Tártaro a secas era, en la mitología griega, la región de los infiernos. Allí, Zeus tenía encerrados a los dioses díscolos, a los Titanes y a los hombres de mal vivir. Hesiodo, en su «teogonía» nos da incluso su situación exacta: «Un yunque, lanzado hacia el cielo, que tardara nueve días, con sus nueve noches, en caer a la tierra, si lo lanzamos desde la tierra hacia el Tártaro, tardaría otros nueve días con sus noches hasta llegar allí.» (A mí me salen casi 3.000 millones de km. Pero, claro, si la Tierra era plana...). En cualquier caso, si hay relación entre el Tártaro (mar) y el Tártaro (infierno) parece difícil concebir los moviminetos platónicos de agua, con tantísima gente por allí.

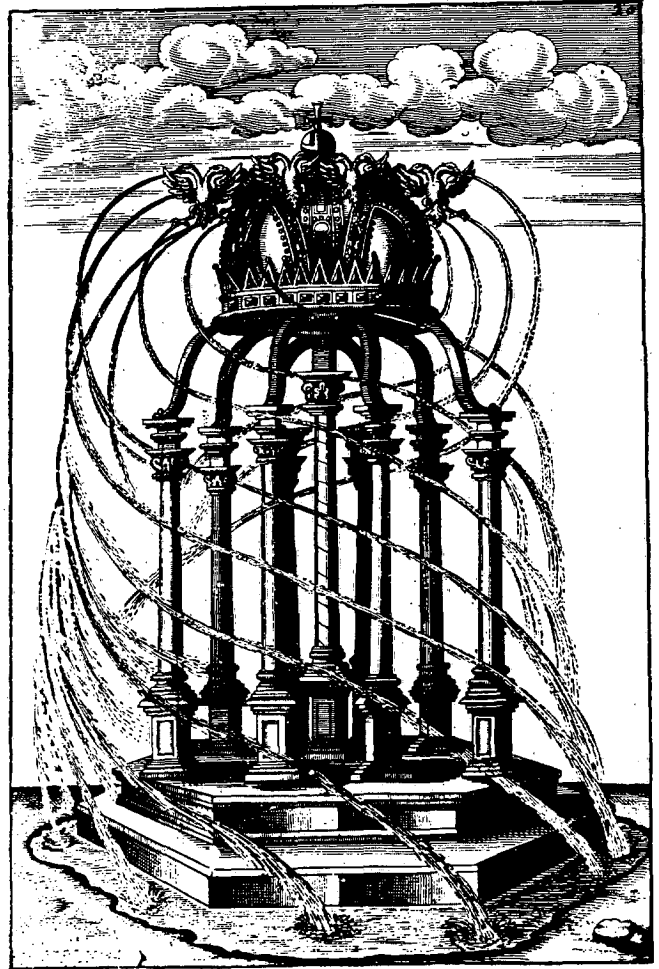
El mar Tártaro estaba lleno del elemento agua que no tenía ni techo ni fondo y en el cual el agua se movía de un lado para otro. «Cuando el agua se retira del mar Tártaro en una embestida contra las paredes internas de la tierra fluye a través de sus canales en aquellas regiones y las llena como el agua elevada por una bomba. Cuando las vuelve a dejar y vuelve a embestirlas de nuevo penetra las cavidades próximas y, cuando las llena, fluye a través de los canales subterráneos y encuentra su camino de salida en distintos sitios de la superficie terrestre, formando mares y lagos y ríos y manantiales». Todas las aguas de los ríos y las corrientes vuelven al mar Tártaro directamente o a través de caminos sinuosos. Este proceso de flujo y reflujo del mar Tártaro a los manantiales y ríos era, desde luego, un proceso continuo. Para nivel del conocimiento en aquella época dos hechos eran universalmente admitidos: que los manantiales (visibles) estaban a niveles más altos que el nivel del mar y, también, que el agua corría cuesta abajo; por ello, eran las «embestidas» del mar Tártaro las que explicaban el fenómeno; (de la salinidad, todavía no se trataba).

Antes de terminar esta breve reseña sobre el pensamiento platónico, cinco sabrosos ejemplos: la razón de ser de los intestinos y sinuosos, es frenar la glotonería del comensal, manteniendo los alimentos dentro del cuerpo; los hombres cobardes y deshonestos reencarnarán, en su vida siguiente, en mujeres, los hombres ingenuos y frívolos que creen que la astronomía puede aprenderse simplemente mirando a

las estrellas —sin conocimientos matemáticos— reencarnarán en pájaros; aquellos que no tengan intereses filosóficos reencarnarán en animales salvajes; los imbéciles de solemnidad reencarnarán en peces.

Fue precisamente el más ilustre discípulo de Platón, Aristóteles, quien destruyó la teoría platónica del mar Tártaro. Aristóteles, (384-322 a.J.) nació en Estagira (Macedonia). Su padre había heredado el puesto de médico del rey de Macedonia. A la edad de 18 años Aristóteles entró como alumno en la academia de Platón y estuvo en ella durante 20 años hasta la muerte de Platón, en el año 348 a.J. En 343 a.J. fue llamado a ser el preceptor del príncipe Alejandro entonces de 13 años de edad. Al tomar Alejandro Magno posesión del reinado de Macedonia, Aristóteles volvió a Atenas en donde fundó su liceo (también llamado Escuela Peripatética por impartir sus clases paseando por el jardín) que fue un completo éxito desde su fundación. La enseñanza de Aristóteles en su liceo duró once años. Aristóteles, a la muerte de Alejandro decidió huir de Atenas por su nacionalidad macedónica y huyó a Calcis (Eubea) «a fin de evitar a los atenienses la vergüenza de un nuevo atentado contra la filosofía». Murió en Calcis a la edad de 62 años.

El universo de Aristóteles era único y finito. Creía en los cinco elementos platónicos y, a los elementos «terrenales» le atribuía los cuatro estados de: caliente, frío, húmedo y seco. Cada uno de los elementos tenía dos de estos estados: la tierra era fría y seca; el agua era fría y húmeda; el fuego era caliente y seco; el aire era caliente y húmedo. Los elementos y los estados podrían engendrarse unos a otros de una forma cíclica. Aristóteles introdujo, con bastante claridad, la explicación a los fenómenos de evaporación y condensación. Incluso realizó experimentos de destilación en alambiques. Destruyó la teoría platónica del flujo y reflujo del mar Tártaro como causa de las aguas subterráneas alumbradas en la superficie, arguyendo que no podría mantenerse la cantidad total de agua movida en el ciclo platónico debido a las pérdidas que sufría esa cantidad de agua que, bajo los efectos del fuego del sol, se convertiría en una gran parte en aire. Respecto al origen de las aguas subterráneas, Aristóteles explica



que se forman en las montañas porque sólo cerca de las montañas se observan manantiales que salen de la tierra. Como fácilmente se observa, en las llanuras no existen tales manantiales. Las zonas montañosas actúan como enormes esponjas que se cargan de agua gracias a la acción conjunta de los tres fenómenos siguientes: en primer lugar, las precipitaciones atmosféricas que «contribuyen» a este efecto; después, a la condensación del «aire subterráneo» para convertirse en agua; y tercero a la condensación en las montañas de vapores de la tierra que suben (¿procedentes de cavernas marinas o de terrenos en comunicación con el mar?). Según Aristóteles, el fuego del sol sólo convierte en aire la parte más «ligera» del agua y deja sin convertir la parte «pesada» de la precipitación atmosférica, la teoría aristotélica resulta enormemente ingeniosa ya que explica, a la vez, tanto la existencia de afloramiento de

agua a costas superiores a la del mar como el hecho de que las aguas subterráneas carezcan de la salinidad marina.

Es realmente impresionante el vacío que se observa desde las teorías de Aristóteles y los vapores subterráneos que se elevan hacia la superficie, hasta mediados del siglo XVI con las teorías de Bernard Palissy. Según un hidrólogo contemporáneo, parece que los pensadores en ese período estuvieran más preocupados de mostrar sus conocimientos enciclopédicos del siglo de oro de Grecia que en aportar nuevas ideas o sugerencias. También sorprende la escasez de hombres con inclinaciones intelectuales que se ocupan de este tema. Por ello, se pasan rápidamente unas ligeras pinceladas sobre estos pensadores de la antigüedad.

Lucrecio (aproximadamente 95-52 a.J. y Plinio (23-79) adoptaron la teoría de la evaporación del agua del mar formando las nubes y éstas dando origen a los ríos.

Lucio Anneo Séneca, nacido en Córdoba el año 4 a.J.-65 adopta la teoría de Aristóteles de la condensación de los vapores subterráneos y escribe, con su gracejo cordobés y con gran frivolidad, (según sus críticos) sobre fenómenos meteorológicos en la atmósfera. Habla de que las nubes son redondeadas como corresponde a las burbujas de gases y sugiere que el granizo se forma en las nubes de la misma manera que el hielo se forma en la tierra y añade y si esto no se cree que se lo pregunten a Poseidón, etc.

El ingeniero Frontinus, Julius, escribe en el año 97 como ingeniero de Aguas de la ciudad de Roma con comentarios que demuestran la falta de conocimientos hidráulicos de estos ingenieros que, sin embargo, tan magníficos acueductos y distribuciones de agua eran capaces de construir. Parece que en los tiempos anteriores a Frontinus todos los ingenieros hidráulicos medían el agua que fluía por sus canales en términos del área de la sección transversal de flujo, sin consideraciones a su velocidad o su carga hidráulica. Parece que Frontinus había aprendido de su maestro y casi contemporáneo Herón de Alejandría que «hay que observar siempre que no basta con determinar la sección del flujo para saber la cantidad de agua

proporcionada por la fuente. Es necesario averiguar la velocidad de su corriente porque mientras más rápido sea el flujo la fuente proporcionará más agua y si es más lento producirá menos». San Isidoro de Sevilla (570-636) también escribió sobre historia natural. Hay que tener en cuenta que las Etimologías de San Isidoro fue uno de los libros más leídos durante miles de años. San Isidoro explica los fenómenos meteorológicos partiendo de los cuatro elementos helénicos. Fundamentalmente, sigue las teorías de Aristóteles y escribe: «El aire cuando se contrae fabrica las nubes; cuando se espesa, la lluvia; cuando las nubes se hielan, nieve; cuando las nubes espesas se hielan de una manera más desordenada, se produce el granizo; cuando las nubes están muy separadas entre sí se produce un buen tiempo porque es sabido que el aire espeso son las nubes y que una nube rarificada y muy extendida es el aire».

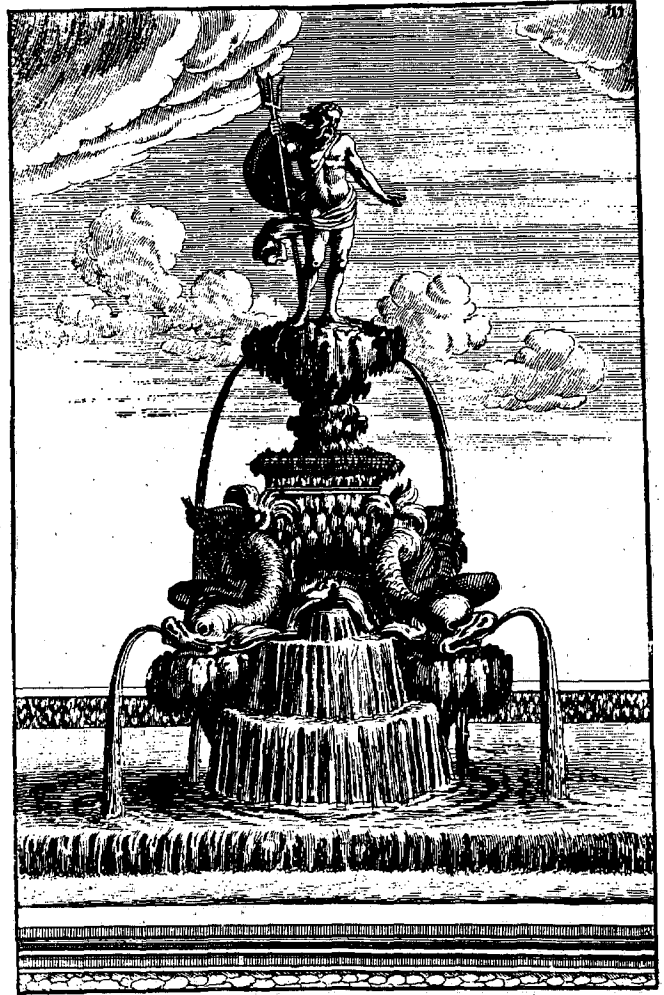
Leonardo da Vinci (1452-1519) también se preocupó de temas hidráulicos. Hay referencias del índice de un tratado de hidráulica en 15 tomos que al parecer Leonardo tenía proyectado. En antiguos grabados se ve a Leonardo, andando por la orilla, con una rueda odométrica, midiendo la velocidad de flotadores que había echado en la corriente del río. Además de sus estudios hidráulicos y sus importantísimas obras en varios campos, es curiosa la carta que escribió a Ludovico Sforza, el duque de Milán, ofreciéndole sus servicios. En ella se proclama ser: experto ingeniero militar y civil, arquitecto y mencionaba que como escultor o pintor «puedo hacerlo tan bien como cualquier otro no importa quién este pueda ser».

Leonardo ya tenía un concepto correcto del ciclo hidrológico, cuando escribía: «De aquí concluimos que el agua va de los ríos al mar y del mar a los ríos constantemente circulando y volviendo y que todos los ríos han pasado a través de las bocas del Nilo infinitas veces. La salinidad del mar debe proceder de los manantiales que, al penetrar en la tierra, encuentran minas de sal, que la disuelven en parte y llevan a los océanos y mares, mientras que las nubes, creadoras de los ríos nunca sube la sal.

Aparece entonces en la historia de los orígenes de las aguas subterráneas un personaje ex-

traño llamado Bernard Palissy (1509-1589). Era francés, hugonote y se dedicaba a la cerámica. No parecía tener una educación esmerada y era de familia humilde. Parece que inventó sistemas nuevos de realizar cerámica esmaltada y cristales de color. La industria aunque le permitía vivir decentemente necesitaba del complemento de los levantamientos topográficos que hacía el señor Palissy; según él: «no tengo más libros que el cielo y la tierra que están abiertos a todos». Como colofón de sus muchas observaciones directas sobre el movimiento de las aguas, escribió un libro con el modesto título de «Discours Admirables» que se publicó en 1580. El libro, en efecto, es un discurso admirable entre la Teoría y la Práctica. He aquí una muestra: la Práctica dice: «yo he contemplado durante mucho tiempo y muy de cerca la causa de las fuentes de los manantiales naturales y los sitios de donde pueden proceder y después de la observación estoy completamente seguro que no pueden proceder ni generarse por nada más que por las lluvias». La Teoría replica: «Después de haber oído tu opinión estoy obligada a decir que eres un gran idiota; ¿me crees tan ignorante que pueda poner más fé en lo que tú digas que en lo que dice tan gran número de filósofos que nos enseñan que todas las aguas vienen del mar y que a él retornan? No hay ninguno, incluso entre los ancianos, que no tenga esa teoría y que todo el tiempo hemos compartido todos. Es una gran presunción que creas que me vas a hacer creer una doctrina completamente nueva y que tú eres el filósofo más aventajado». A esto la Práctica replica: «Si yo no estuviera absolutamente seguro de mi opinión, me pondrías en una situación vergonzosa pero no me asusta tu abuso ni tu fino lenguaje, por que yo estoy completamente seguro que yo ganaré contra tí y contra cualquiera que fuera de tú opinión ya sean Aristóteles o los mejores filósofos que hayan vivido jamás por que estoy completamente seguro de que mi opinión es correcta». Y este, ¡por fin! es el primer paso en la dirección correcta, pero todavía sin una experimentación específica.

Otro investigador, ya en el campo experimental, es Pierre Perrault (1608-1680). Siguiendo los pasos paternos se hizo abogado y obtuvo un puesto de interventor para el Ayuntamiento de



París. Cometió un desfalco que fue detectado y le hizo perder su puesto. Pierre era hermano de Charles Perrault que fue el autor de los conocidos cuentos para niños. En 1674 apareció publicado, anónimamente, en París, un libro titulado «De l'origine des fontaines». La autoría de este libro fue objeto de controversia y fue atribuida a varios autores y finalmente a su verdadero autor Perrault. Después de varios conflictos sobre quien había escrito el libro, parece ser que la verdad era que, en efecto, Perrault hizo una primera tirada, con un nombre supuesto, para distribuirlo entre sus amigos, porque simplemente no se atrevía a publicar con su nombre la revolucionaria monstruosidad de que las aguas de lluvia eran suficientes. En efecto, Perrault explica en su libro cómo, habiendo elegido un punto en la parte del valle del Sena en Aynay le Duc, en donde un arroyo desemboca en el río usó ese punto como referencia. Midió la superficie de la cuenca por encima del pun-

ta hasta la divisoria del comienzo de la cuenca y también midió la pluviometría, durante tres años, con distintas vasijas colocadas en la cuenca. Después midió en varias ocasiones los caudales del río en el punto elegido e hizo los consiguientes cálculos. Con enorme asombro por su parte, el joven Perrault pensó haberse equivocado cuando la aportación pluviométrica le resultaba ser **seis veces** el caudal medio medido en el río. En su histórica medición Perrault no se preocupó precisamente de la infiltración de las aguas de lluvia en la tierra. Pensaba que la capacidad de absorción del terreno era muy pequeña y despreciable con respecto a la escorrentía superficial, pero esta omisión no resta importancia a la repercusión de los resultados del ensayo que fue realmente enorme en su época. Lo realmente asombroso es que hubiera que esperar casi al siglo XVIII para que este ensayo, por fin, fuera llevado a cabo.

Edmundo Mariotte fue un afamado físico francés, nacido en Dijon en 1620 y falleció en París en 1684. Descubrió las leyes de los choques entre cuerpos elásticos y estableció la ley física de los gases que lleva su nombre junto con el de el físico Boyle. Fue miembro de la Academia de Ciencias, recién creada por Colbert y un asiduo asistente a sus reuniones. Mariotte escribió un extenso tratado sobre el movimiento de las aguas. En él, Mariotte asegura que las precipitaciones son más que adecuadas para la creación de los manantiales y ríos. En este aspecto, se supone que estaba algo influenciado por el trabajo de Perrault. Igualmente intenta demostrar lo erróneo de las teorías de Aristóteles sobre la condensación de los vapores subterráneos en las paredes de las cuevas. Mariotte hace la observación de que esa condensación escurriría dentro de la cueva, pero que difícilmente se pueden buscar explicaciones para suponer que el agua condensada de los vapores aristotélicos saliera fuera de sus paredes.

En su ciudad natal, Dijon, Mariotte efectuó una serie de ensayos del mismo tipo de los ya efectuados por Perrault probando sin lugar a dudas, como la pluviometría de una subcuenca era ampliamente capaz de soportar los caudales medios obtenidos de ella.

Los trabajos de Mariotte fueron realizados por un equipo de profesionales dirigidos por él, ya

con toda la garantía de exactitud y de profesionalidad que pudiera exigirse. Así quedó establecido de una vez por todas el verdadero origen, tanto de las aguas subterráneas como de las superficiales.

Más generalmente conocidos son los avances posteriores de la hidrología subterránea a partir del gran paso de la determinación incuestionable del origen de la recarga.

Darcy en 1856, haciendo estudios experimentados sobre filtros, establece la fórmula que lleva su nombre: el caudal de flujo del agua en un medio poroso es el producto del área total de la sección normal al flujo (incluyendo tanto poros como granos), por el gradiente de carga hidráulica ($\Delta h/\Delta l$), por una constante (K) dependiente del medio —que poco después dio en llamarse permeabilidad—.

Poco después, Jules Dupuit (1804-1866) partiendo de las aportaciones de Culomb y De Prony sobre la formulación de teorías sobre rugosidad, establece la fórmula logarítmica de la superficie freática del agua afluyendo a un pozo circular en acuífero infinito de espesor uniforme.

Adolf Thiem (1836-1908) ingeniero civil de Dresden, realiza estudios teóricos de flujo en pozos en acuíferos libres y artesianos, así como en galerías rectilíneas (1870). También efectuó comprobaciones experimentales de campo con tubos piezométricos de observación directa que confrontaron sus fórmulas.

Philip Forchheimer (1852-1933) nacido en Viena, establece la validez de la ecuación diferencial de Laplace para definir la superficie freática en el subsuelo con determinadas condiciones de borde, estableciendo las redes de líneas equipotenciales y de flujo.

En los Estados Unidos, Charles Slichter (1864-1946) llega, independientemente, a las mismas conclusiones que Forchheimer, pero enriquece la definición de la permeabilidad K, desdoblándola en factores dependientes del líquido fluyente y también del tipo y formas del medio permeable.

Uno de los progresos más notables en el conocimiento de la hidráulica subterránea fue hecho en Estados Unidos por C.V. Theis, el cual, basándose en analogías de transmisión de calor a través de medios homogéneos, descubrió,

En 1935, la fórmula que expresa el descenso de nivel freático en un sondeo de observación en función del tiempo de duración del bombeo desde las condiciones de reposo. Posteriormente, C. E. Jacob obtuvo las mismas fórmulas basándose exclusivamente en conceptos hidráulicos.

Relativamente modernos son los progresos sobre estudios de acuíferos percolantes (es decir, con un cierto grado de filtración vertical), primeramente tratados por Jacob, Hantush, De Wiest y Walton.

Para concluir debe hacerse notar la muy curiosa falta de interés colectivo en España, — desde el humilde labrador hasta el alto administrador público, — sobre la utilización del agua subterránea. No hace mucho, un alto jefe de la administración me decía: «Alberto, ya se sabe: los pozos o se secan o se salinizan». A eso tuve que contestarle: «Eso es equivalente a decir que, ya se sabe: los niños o se deshidratan o se empachan». ¡Caramba, no es así si se toman a tiempo las medidas para evitarlo!

Por otra parte, se estima actualmente, que las reservas de agua subterránea constituyen el 97 por ciento de las reservas mundiales de agua dulce, — excluyendo los casquetes polares, — (Naciones Unidas, Comisión Económica para Europa, mayo 1987). En cuanto al consumo relativo, son los países más avanzados los que más dependen de las aguas subterráneas. En los Estados Unidos el 50 por ciento de la población se abastece de pozos para usos domésticos, en la URSS la cifra es del 70 por ciento, en el Reino Unido: en Inglaterra y Gales 35 por ciento, pero en su zona sur-oriental se aproxima al 75 por ciento.

Es España la misma cifra, aunque no bien conocida, se estima actualmente en un 30 por ciento. Parecería urgente una propaganda eficaz de las Administraciones — agradable e inteligible a los usuarios — que les permitiera comprender, más claramente, lo que están dejando de aprovechar.

También es de esperar que los mayores contactos recientes, tecnológicos y sociales, con el resto de Europa tiendan a acelerar la reducción de nuestro retraso en este campo.

Alberto Benítez García



FORMACION PROFESIONAL:

- Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
- Becado del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) durante un curso completo sobre Hidrología Subterránea.
- Diplomado en el Programa de Alta Dirección de Empresas (PADE) del IESE.
- Varios cursos monográficos sobre temas empresariales.
- Profesor adjunto de la Escuela de Ingenieros de Caminos del curso de Hidrología Subterránea del doctorado.
- Introdutor en castellano de las modernas técnicas de Hidrología Subterránea, con su libro «Captación de aguas subterráneas» 1.ª ed. 1963, 2.ª ed. 1972.

EXPERIENCIAS PROFESIONALES:

- Jefe de la Sección de Ingeniería Sanitaria en el proyecto de las Bases Americanas en España.
- Jefe de la Sección de Hidráulica en la consultora Arthur G. Mackeer en Cleveland (Ohio) y también, de Meissner Engineers en Chicago (Illinois), donde también actuó como Director de Proyectos Extranjeros para esta empresa en México, Costa Rica, Venezuela y Colombia.
- Consultor en múltiples abastecimientos de agua subterránea en Zaire, Túnez (International Engineering, Inc) y Marruecos.
- Director de la división de Hidráulica EYSER (Estudios y Servicios, S. A.) Madrid.
- Dirección General de Obras Hidráulicas, jefe de la Sección de control analítico de las aguas.
- Confederación Hidrográfica del Tajo, Explotación del Tránsito Tajo-Segura.
- Confederación Hidrográfica del Tajo, Hidrología Subterránea.