

**Aspecto histórico y evolutivo de las ideas
acerca de las aguas subterráneas desde los
tiempos más remotos hasta el nacimiento de
la Ciencia Hidrogeológica (*)**

F. J. Martínez Gil (1972)

(*) El autor es en la actualidad Catedrático en la Universidad de Zaragoza.
Esta breve reseña inédita es un apartado de la Memoria con la que obtuvo la
plaza de Profesor Agregado en la Universidad de Salamanca

I. Historia de las ideas acerca del origen de las aguas subterráneas hasta la aparición de la obra de Bernard Palissy

I. 1. Introducción

No hay que confundir la historia de la hidrogeología en tanto que ciencia con la historia de los aprovechamientos de las aguas subterráneas, aunque es innegable que este segundo aspecto fue necesario para asistir al nacimiento de las primeras ideas racionales acerca del origen del agua subterránea y, de ésta, al nacimiento de la ciencia hidrogeológica.

Al igual que en todas las demás ciencias, también en hidrogeología es difícil establecer un criterio rígido para precisar los límites entre el conocimiento intuitivo y el reflexivo, es decir, para fijar el momento a partir del cual nació la ciencia.

Sabemos que en las regiones secas de China, ya dos mil años antes de la Era Cristiana, los alumbramientos de importantes caudales de aguas subterráneas permitieron en extensas regiones el desarrollo de una floreciente agricultura y la concentración de la población en grandes núcleos urbanos en zonas relativamente alejadas de los cursos de agua,

Sabemos también que los chinos utilizaron como sistema de captación tanto los llamados pozos abiertos, con o sin galerías, como los pozos perforados de pequeño diámetro, que hoy conocemos como sondeos. Con los primeros alcanzaban con relativa facilidad los 50 m. de profundidad, mientras que con los segundos –según referencias existentes– alcanzaban los 1200 m. (BOWMAN (6)), e incluso los 1500 m. (TOLMAN (21)). Estos pozos profundos de pequeño diámetro no siempre fueron realizados para alumbrar aguas subterráneas, puesto que con ellos frecuentemente se buscaban salmueras y gases.

El libro de TOLMAN (21), titulado "*Ground Water*", publicado en 1937, es particularmente rico en descripciones curiosas y completas referentes a este tipo de hazañas hidrogeológicas de los pueblos orientales antiguos, que tanto dicen acerca de la gran necesidad que de las aguas subterráneas tuvieron algunas de estas civilizaciones. Ha sido necesario esperar hasta mediados del siglo XIX para volver a igualar las marcas de profundidad establecidas por las perforaciones de estos pueblos de la antigua China.

Sin embargo, a pesar de estas sorprendentes hazañas del pueblo antiguo chino, corresponden a persas y egipcios los trabajos de prospección de aguas subterráneas más colosales jamás realizados por el hombre, mediante la construcción de los verdaderamente sorprendentes "kanats".

Los "kanats" eran sistemas de largas galerías de infiltración que drenaban las rocas sedimentarias blandas, fáciles de excavar, y los extensos conos aluviales de los grandes sistemas fluviales, a lo largo de decenas de kilómetros, captando el agua subterránea tanto para fines agrícolas como para abastecimientos urbanos. Los "kanats" más antiguos son probablemente los del Irán, que fueron construidos hace más de 2500 años,

TOLMAN cita en su libro un sistema de "kanats", construido en Egipto hacia el año 500 (a. de C.), que permitía regar una extensión de tierra fértil de unas 470.000 Has., cifra que nos hace suponer que debía suministrar un volumen anual de unos 2.500 a 3.000 Hm³, es decir, un caudal permanente equivalente a unos 90 m³ /s. (aproximadamente la mitad del caudal medio del río Guadalquivir en Sevilla).

En todo el Mediterráneo español –particularmente en Cataluña y Levante– existen importantes sistemas de galerías de drenaje (llamadas "minas") que fueron abiertas para el

alumbramiento de aguas a lo largo, a veces, de varios centenares de metros, y cuya técnica de construcción fue probablemente introducida por los árabes. Estos sistemas de captación son todavía mucho más importantes en las Islas Canarias, donde los pozos excavados frecuentemente alcanzan los 150 m. de profundidad y las galerías varios kilómetros de longitud.

Existen hoy en día todavía ejemplos similares de grandes obras de captación en diversos países de Sudamérica, cuya realización pertenece a la cultura inca.

De todas formas, a pesar del testimonio evidente de estas colosales obras de captación, muy poco sabemos acerca de los conocimientos hidrogeológicos de estos pueblos de la antigüedad. Es de suponer que si no poseyeron una ciencia hidrogeológica, probablemente hubo numerosas personas ("científicos" o técnicos) que poseyeron un conocimiento un tanto reflexivo acerca de las condiciones geológicas generales de las aguas subterráneas, al mismo nivel, al menos, del que a veces encontramos hoy en día entre gentes del campo, constructores de pozos o zahoríes, totalmente ajenos a la hidrogeología científica, que conocen por una especie de sentido común especial las leyes elementales de la hidrogeología.

En todo caso, es necesario admitir que la experiencia práctica adquirida en la realización de tan colosales obras debió proporcionar a estos pueblos de la antigüedad, al menos, un cierto conocimiento instintivo acerca de las condiciones geológicas principales de las aguas subterráneas.

El concepto de **ciclo hidrológico**, que hoy día nos parece tan obvio, no fue sin embargo comprendido por los pueblos antiguos, según atestiguan sus escritos.

Desde los tiempos más remotos de la historia hasta los tiempos casi recientes (siglo XVIII), el origen del agua de los manantiales que alimenta a los ríos ha constituido un enigmático problema objeto de numerosas especulaciones y controversias.

Hasta finales del siglo XVII fue dogmáticamente aceptada la idea de que el agua que descargan los manantiales y la que drenan los cauces de los ríos no podía proceder de las precipitaciones atmosféricas; en primer lugar, porque las consideraron siempre cuantitativamente insuficientes y, en segundo lugar, porque se tuvo siempre también el concepto de que la superficie de la tierra era demasiado impermeable como para permitir una infiltración y percolación masivas, profundas, de las aguas de lluvia y demás aguas meteóricas.

Admitidos estos dos postulados erróneos como lo fueron a lo largo de tantos siglos, los filósofos de las edades Antigua, Media y Moderna tuvieron que recurrir a su ingenio e imaginación para explicar el misterioso origen de las aguas subterráneas.

1. 2. Las ideas en la cultura griega

Parece ser que los primeros escritos que hacen referencia al origen del agua subterránea hoy día conocidos por los hidrogeólogos corresponden a los griegos.

Estos escritos abogan por la existencia de una o varias enormes cavernas en el interior de la tierra, que unos supusieron inagotables y que otros imaginaron en permanente estado de recarga.

Estos últimos supusieron la existencia de un "ciclo hidrológico" en el cual el agua del mar, a través de una serie de conductos subterráneos, se introduciría en esas enormes cavernas, las cuales alimentarían el caudal de los manantiales y de los ríos y retornarían de nuevo al mar.

Así, TALES DE MILETO (que vivió alrededor del año 650 a. de C.), opinaba en sus escritos que los manantiales y los ríos eran alimentados por las aguas del océano, las cuales se introducían en las entrañas de la tierra y, bajo la acción de las presiones de las rocas, ascendían hasta la superficie, dando lugar a los manantiales.

PLATON (427-347 a. de C.), en su diálogo titulado "*Fedón*", describe cómo todas las aguas de la superficie de la tierra: mares, lagos, ríos y manantiales, proceden de una enorme caverna, llamada "Tartarus", a la cual todas las aguas libres de la superficie de la tierra vuelven tras haber recorrido diversos e intrincados caminos.

La idea de que las aguas de los ríos y manantiales proceden directamente del mar a través de una serie de canales y conductos subterráneos parece que fue admitida de manera axiomática y general desde los primeros tiempos de la cultura griega hasta el siglo XVII, de tal suerte que durante este periodo toda la problemática acerca del origen de las aguas subterráneas quedó relegada a la explicación de los procesos por medio de los cuales el agua del mar podría perder su salinidad y ascender hasta las cotas de los manantiales.

Para explicar la desalinización se recurrió casi siempre a la idea de la destilación o de la infiltración.

Para explicar la elevación del agua desde el mar hasta las cotas de los manantiales se recurrió a la intervención de diferentes procesos, entre los que los más destacados fueron: 1) la evaporación, ascensión del vapor y posterior condensación del agua subterránea procedente del mar, por efecto del calor interno de la tierra; 2) las presiones ejercidas por las rocas; 3) el efecto de succión del viento; 4) la presión ejercida sobre la superficie del mar por los vientos; 5) la acción del oleaje; 6) la acción capilar de las rocas, y 7) la curvatura de la superficie de la tierra, por la cual el mar estaría más alto que ciertos manantiales a los que transmitiría su carga hidráulica.

ARISTOTELES (384- 322 a. de C.), discípulo de Platón, profundizó más que su maestro y que sus antepasados con su pensamiento racional en los procesos por los cuales el agua del mar podría llegar a perder su salinidad y aparecer en los manantiales, lo que le llevó a sospechar que el agua de los manantiales no debía proceder probablemente del mar sino de una emanación permanente en forma de vapor procedente del interior de la tierra que al ascender a los niveles superiores se condensaría y, a través de una intrincada red de poros y conductos, alcanzaría la superficie del suelo dando lugar a los manantiales (ADAMS (1 y 2)) (p. 4. y pp. 426-431, respectivamente).

En su tratado titulado "*Meteorologica*" (3), Aristóteles supone que probablemente las aguas de lluvia en parte se infiltran en el suelo, percolan a su través, pudiendo llegar incluso a jugar un cierto papel en la alimentación de los manantiales, (aunque insiste en que la mayor parte del agua subterránea debe proceder de la condensación de los vapores procedentes de la emanación interna de la tierra). En esta obra Aristóteles describe ya su idea de que el agua, por efecto de los rayos del sol, se convierte en "aire", el cual, cuando se enfría, se vuelve a convertir en agua y cae de nuevo a la tierra en forma de lluvia.

Sin embargo, en honor a estos grandes pensadores griegos, debemos hacer dos observaciones. En primer lugar, que el tema de las aguas subterráneas probablemente no constituyó más que una pequeña preocupación dentro del vasto campo de la problemática de la sabiduría de aquel entonces y que quizás nunca fue objeto de una dedicación comparable a la que concedieran a otros grandes temas de mayor trascendencia. En segundo lugar, que las observaciones que hicieron con respecto a las aguas subterráneas se referían fundamentalmente al agua de los grandes manantiales —cuya magnitud impresionó siempre a los griegos, ya que no pudieron suponer que procediesen de las aguas de lluvia—, y no al agua de la mayoría de los pozos someros o próximos a los cauces de los ríos.

1. 3. Las ideas en los tiempos de la cultura romana

La mayor parte de los filósofos romanos siguieron en general a los griegos. En este sentido sabemos que Lucrecio y Plinio adoptaron —en el mismo sentido que Tales o Platón— la idea de que el agua del mar era la fuente directa primordial que alimentaba a los grandes

manantiales. SENECA (20) (3 a. de C. - 65 d. de C.), comulgó, en cambio, con la idea de la condensación de Aristóteles.

LUCRECIO, en el libro VI de su "*De Rerum Natura*" (16) describe ya la idea de un ciclo hidrológico en la naturaleza en el que el agua se evapora desde la superficie de la tierra y del mar y a ellas torna en forma de precipitaciones. En el libro V, sin embargo, vemos que opinaba que el origen de las aguas subterráneas es el mar, desde donde caminan por el interior de la tierra hasta alcanzar los manantiales.

La cultura romana dio una gran importancia al valor del agua, como lo atestiguan las numerosas obras de captación, conducción y abastecimientos que construyeron, fruto de una depurada técnica.

A la cultura romana –o al menos a uno de sus pensadores– le cabe el honor de haber llegado, probablemente, a la primera concepción correcta acerca del ciclo hidrológico y del origen de todas las aguas subterráneas en general. Este pensador –arquitecto de profesión– fue Marco VITRUVIO (s. I a. de C.), que escribió un famoso tratado sobre arquitectura, en diez libros, que dedicó al Emperador Octavio Augusto. De acuerdo con la importancia que la cultura romana daba a los abastecimientos de agua, Vitruvio dedicó su octavo libro (22) a este tema; en él escribe:



"Dado que es de opinión general entre fisiólogos, filósofos y sacerdotes el que todas las cosas proceden del agua, juzgo que es necesario –de igual modo que hice en los siete anteriores libros en lo referente a las reglas para la construcción de edificios– describir en el presente el método de buscar aguas y las diferentes propiedades de éstas de acuerdo con la naturaleza de cada región ..."

En este mismo libro escribe más adelante:

"Los árboles, que crecen en gran número sobre los montes, contribuyen a la acumulación de la nieve durante largas épocas, cuando ésta comienza su fusión empieza a infiltrarse lentamente bajo el suelo, **y es esta misma agua**, la infiltrada, la que, al llegar subterráneamente al pie de las montañas, da lugar a los manantiales".

Cita, además, en él, una lista de plantas "que sirven para indicar la presencia de agua en el suelo", y da algunos consejos a este respecto.

PLINIO el Viejo (23-79 d. de C.), célebre naturalista muerto en la erupción del Vesubio, cita también en sus escritos una serie de plantas y procedimientos de la época para buscar aguas subterráneas.

En el siglo VI, CASIODORO ofrece también en sus escritos una larga lista de plantas indicadoras de agua que él habla aprendido a través de un buscador profesional de aguas que había llegado a Roma procedente de un país árido de Africa "donde la gran aridez de los terrenos ha hecho posible el nacimiento de un cultivado arte de descubrir manantiales".

Tanto los escritos de Vitruvio como los de Plinio y Casiodoro citan numerosos procedimientos que existían en su época para buscar aguas subterráneas, tales como el color y la humedad de los suelos, las nieblas locales y el humedecimiento de las esponjas colocadas en pequeños hoyos excavados ex profeso sobre el terreno. Todo ello indica la existencia durante la época de la cultura romana de un afán generalizado para buscar aguas subterráneas.

I. 4. Las ideas durante la Edad Media y hasta 1580

Durante toda la Edad Media todos los filósofos e intérpretes de las Sagradas Escrituras –al igual que casi todos los filósofos de la antigua Grecia– pensaron que el agua de los manantiales tenía su origen en el mar.

La mayoría de los escritos de estos siglos que hacen referencia al origen del agua de los manantiales recurren al desarrollo de la idea de la existencia de un sistema de sumideros en el fondo del mar, a través de los cuales se infiltraría el agua hasta las entrañas de la tierra.

En este sentido, las interpretaciones dogmáticas que los Santos Padres dieron a algunos pasajes bíblicos fueron probablemente decisivas, puesto que prácticamente habría resultado herético durante esta época dudar de las teorías del agua subterránea procedente del mar. La Sagrada Biblia en el ECLESIASTES dice: "Los ríos van todos al mar, y la mar no se llena; allá de donde vinieron tornan de nuevo, para volver a correr" (1:7). En DAVIS y De WIEST (7), pág. 15 de la versión en lengua inglesa, se interpreta este párrafo como el enunciado de un enigma para el que el Rey Salomón no había encontrado explicación. En cambio, creemos que puede interpretarse también como la descripción de un fenómeno que para el autor del Eclesiastés tenía una explicación obvia: el ciclo hidrológico. Queda para cada lector el suponer bajo qué forma concebía Salomón este ciclo: mar-tierra-mar, o mar-atmósfera-tierra-mar.

De este modo las ideas erróneas del pensamiento griego se fueron arrastrando hasta finales del siglo XVII. En este sentido cabe excluir, por su claridad de pensamiento y visión adelantada, a LEONARDO DE VINCI (14) y, sobre todo, a BERNARD PALISSY.

II. Las ideas de Bernard Palissy

Bernard Palissy, calvinista francés nacido en Saintes, educado en un ambiente humilde y que no recibió nunca una educación académica, es uno de los precursores de la geología y de la hidrogeología.

Palissy fue un gran filósofo naturalista que desde muy joven mostró un vivo afán por observar la naturaleza. Sus teorías fueron todas el fruto de sus propias observaciones. Como él mismo dice en sus escritos: "no he tenido nunca otros libros que el cielo y la tierra, cuyas páginas están abiertas a todos".

En Saintes, donde residió gran parte de su vida, abrazó la Reforma; perseguido y detenido por calvinista fue puesto en prisión en Burdeos, hasta que Catalina de Médicis lo liberó y condujo a Paris, donde en 1566 le encargó la decoración de los jardines del palacio de las Tullerías, en los que aún hoy día pueden admirarse sus bellas terracotas.

Sabemos que a partir de 1575 Palissy dio clases de Historia Natural y que cinco años más tarde, en 1580, publicó en francés (en la época todos los trabajos científicos y filosóficos se publicaban en latín) su majestuosa obra titulada "*Discours admirable de la Nature des Eaux et Fontaines*", (18). Sus teorías acerca del origen del agua subterránea, que aparecen escritas en forma de un fascinante diálogo entre dos personajes: "Teoría" y "Práctica", han sido traducidas a varios idiomas.



**DISCOVRS AD-
MIRABLES, DE LA NA-
TURE DES EAUX ET FON-
TAINES, TANT NATURELLES QU'AR-
tificielles; des metaux, des fels & salines, des
pierres, des terres, du feu & des emaux.**

En uno de los pasajes de esta majestuosa obra de Palissy, la "Práctica" dice:

"Después de haber considerado seriamente durante mucho tiempo la causa del origen de los manantiales y el lugar de donde sus aguas proceden, he llegado, finalmente, a la firme convicción de que éstas proceden de las lluvias y no son engendradas por otra causa que ésta"

A lo que la "Teoría" contesta:

"Después de haber escuchado su opinión, yo también estoy plenamente convencida de que Vd. está completamente loca; Vd. me cree tan ignorante como para dar más crédito a aquello que me acaba de contar que a lo que nos contaron ya la mayoría de los filósofos, quienes nos dijeron que todas las aguas proceden del mar y a él retornan. No hay nadie, ni incluso los hombres más viejos, que duden de esta teoría y, además, durante todos los tiempos, todos los hombres así lo creyeron. Supone una gran presunción por parte de Vd. intentar ahora hacerme creer una doctrina totalmente nueva, como si Vd. fuera el más clarividente filósofo de todos los tiempos".

A lo que la "Práctica" responde:

"Si yo no estuviera bien respaldada en mis afirmaciones, Vd. me habría avergonzado con sus palabras; sin embargo, no me han inquietado lo más mínimo ni su dura crítica ni sus refinadas palabras, porque estoy completamente segura de que le convencerá a Vd. y a todos aquellos que como Vd. opinan, aunque entre ellos están Aristóteles y los mejores filósofos que jamás hayan existido, pues tan convencida estoy de que mi opinión es correcta".

En este estilo literario tan atrayente y sencillo se desarrolla el argumento de la obra, en la que la "Teoría" defiende, primero, la hipótesis tradicional del agua subterránea procedente del mar y, después, la de la condensación, mientras que la "Práctica", con claros y válidos argumentos, muestra los absurdos de cada una de estas hipótesis, presentando hechos sencillos, pero convincentes, que demuestran a la "Teoría" que toda el agua de los manantiales y de los pozos procede, en efecto, de las lluvias.

En un lenguaje claro y directo explica la "Práctica" que el agua de lluvia empapa primero la superficie del suelo, luego se infiltra y percola en profundidad hasta tropezar con una roca impermeable, sobre la cual discurre hasta encontrar un desagüe y, finalmente, descarga, dando origen a los manantiales, desde los que, a través de los ríos, va a parar al mar.

Once años antes de esta publicación, en 1569, también en Francia, Jacques BESSON (4), profesor de matemáticas en Orleans, habla escrito un tratado titulado *"L'Art et Science de trouver les Eaux et Fontaines cachées sous terre"*, en el que expuso de manera menos didáctica, menos convincente y más teórica que Palissy, sus ideas acerca del origen de las aguas subterráneas. Su obra se acerca en su contenido más a la de Vitruvio, por su carácter intuitivo, que a la de Palissy, que estaba apoyada en una serie de observaciones concretas y en pruebas convincentes.

III. Las ideas desde Palissy hasta los precursores de la hidrogeología científica

A pesar de las honrosas excepciones citadas, las ideas erróneas acerca del origen de las aguas subterráneas siguieron prevaleciendo hasta finales del siglo XVII.

Es así cómo nos explicamos que durante esta época, científicos tan influyentes como el famoso astrónomo alemán Johannes Kepler (1571-1630), el Padre Jesuita Atanasius Kircher (1602-1680) y el propio René Descartes (1596-1650), no solamente concedieran crédito a las teorías de los antiguos griegos sino que, además, las ilustraran y divulgaran con aportaciones cuyas fruto de una fantasía inaudita en unos científicos de su categoría.

Así pues, KEPLER, en sus escritos no supo decir más acerca del origen de las aguas subterráneas que comparar la tierra a un enorme animal que tragaba el agua del mar y la digería, siendo el agua dulce de los manantiales el producto final de su metabolismo.

Las ideas del Padre Jesuita KIRCHER, expuestas en su "*Mundus Subterraneum*", publicado en 1664 (13), son también de una imaginación espectacular. Para Kircher los manantiales serían los desagües naturales de unos grandes sistemas de cavernas que existirían por debajo de todas las montañas de la tierra, las cuales conectarían con el mar por medio de enormes conductos subterráneos. Los grandes remolinos que se observan en algunas costas nórdicas fueron considerados por Kircher como la manifestación palpable del emplazamiento de las bocas de esos supuestos grandes conductos, tal como muestran los dibujos explicativos que acompañan a su obra (*), la cual conoció una gran divulgación debido a que llegó a constituir un tratado clásico de geología para los estudiantes de la época.

DESCARTES en sus "*Principios de la Filosofía*", escrito en 1644 en latín y traducido poco después al francés (8), decía,

"Hay grandes cavidades llenas de agua por debajo de las montañas, donde el calor producido por la luz del sol eleva continuamente vapores, los cuales, no siendo otra cosa que diminutas partículas de agua separadas unas de otras y fuertemente agitadas, escapan a través de los poros de la tierra y llegan hasta las más altas llanuras y montañas, se reagrupan en el interior de las fisuras que existen en la proximidad de su superficie, las rellenan y, cuando son recortadas por el terreno, originan los manantiales, los cuales discurren valle abajo, se reagrupan, forman los ríos y llegan hasta el mar. Ahora bien, a pesar de que por este procedimiento salga continuamente mucha agua de esas cavidades que existen por debajo de las montañas, nunca llegan a vaciarse; ello es debido a que existen numerosos conductos por los que el agua del mar llega hasta esas cavernas en la misma proporción que de ellas sale en dirección a los manantiales".



Sin embargo, el Padre Jesuita JEAN FRANCOIS, maestro de Descartes, escribió veintiún años después (en 1665) en su "*Arts des Fontaines et Science des Eaux*" (12) que no estaba de acuerdo con su discípulo a pesar de la admiración que le profesaba:

"... ni con todos aquellos que hacen venir el agua de los manantiales directamente del agua del mar la cual, según ellos, depositando su salinidad en el interior de la tierra vuelve a aparecer en la superficie, desde donde corre de nuevo al mar. Soy, en cambio, de la opinión de aquellos que hacen venir los manantiales de las aguas procedentes de los vapores formados sobre la tierra y sobre el mar, es decir, de las lluvias y de las nieves fundidas que penetran en la tierra, salen y, al salir, dan lugar a nuevos manantiales".

(*) BISWAS (5) incluye diversas y curiosísimas reproducciones de algunos dibujos originales de Kircher, en las que explicaba gráficamente sus ideas.

Con anterioridad a esta obra el Padre Jean Francois, en 1653, había publicado ya un famoso tratado de hidrología titulado "*La science des eaux que explique en quatre parties leur formation, communication, mouvement et mélanges*" (11), de considerable interés por su claridad de ideas.

IV. Los precursores de la ciencia hidrogeológica

Los albores de la ciencia hidrogeológica –que nace parejamente a la hidrología, en tanto que ciencia del cielo hidrológico– hay que situarlos a finales del siglo XVII, asociados a las ideas y demostraciones cuantitativas de los franceses Pierre Perrault (1608-1680) y Edmé Mariotte (1620-1684), entre otros, y a las aportaciones científicas y experimentales del famoso astrónomo inglés Edmund Halley (1656-1742).

Las ideas que Vitruvio y Palissy habían desarrollado mil seiscientos y cien años antes, respectivamente, fueron plenamente confirmadas por Pierre PERRAULT (hermano del autor de los famosos cuentos de hadas, Charles Perrault) mediante valiosas aportaciones experimentales, con las que vino de nuevo a remover el complicado problema del origen de las aguas subterráneas.

Perrault fue Cobrador General de Finanzas de la Generalía de Paris. Sus teorías acerca de las aguas subterráneas y del ciclo hidrológico aparecen recogidas en su obra "*De l'origine des Fontaines*", publicada en 1674; en ella se refleja claramente el pensamiento de Vitruvio y Palissy al respecto. Perrault recopiló los datos pluviométricos de tres años consecutivos de la cuenca alta del Sena (en la Borgoña) y, simultáneamente, realizó aforos periódicos en el río. Al final de este periodo, al calcular y comparar los valores de las aportaciones totales del río con los de las lluvias, encontró que éstas hablan sido seis veces superiores a aquéllas, con lo que quedaba derrocada la antigua teoría de que el agua de las lluvias era cuantitativamente insuficiente para justificar las aportaciones de los ríos.

Perrault, además, como puede hoy día comprobarse en uno de sus escritos (19), habló ya del carácter influente y efluente de los ríos y del papel de embalse regulador que juegan los terrenos impermeables próximos. En este sentido opinaba que el agua de las lluvias pasaría primeramente –y en su mayor parte– a engrosar directamente el caudal de los ríos, desde los que se infiltraría bajo sus cauces para formar las aguas subterráneas, las cuales volvían a salir en forma de manantiales o por medio de un lento rezume, alimentando los ríos en los periodos secos. Parece ser que él no creyó en la posibilidad de que el agua de lluvia alcanzase por sí sola directamente las partes profundas del suelo, sino a través de los cauces de los ríos con ocasión de las crecidas, dando por ello una explicación un tanto rebuscada al origen de los manantiales situados en cotas elevadas con respecto a los cauces.

MARIOTTE, contemporáneo de Perrault, repitió y confirmó el experimento de este último en un punto diferente de la cuenca del Sena, concretamente en el Pont Royal de Paris. Demostró, además, la existencia real de la infiltración profunda del agua de lluvia a través del terreno mediante una serie de experimentos convincentes. Demostró, en efecto, que el caudal de los numerosísimos manantiales que habla estudiado oscilaba de acuerdo con las precipitaciones y con la extensión de su cuenca de recepción.

La obra de Mariotte se encuentra recogida en una publicación aparecida en 1685 (año siguiente al de su muerte) y titulada "*Traité du mouvement des Eaux et des autres Corps fluides*" (17). Las ideas que en dicha obra expone Mariotte son de una claridad meridiana, no ya sólo en lo que respecta a la infiltración profunda del agua sino también acerca del ciclo hidrológico en general. La descripción que hace del proceso que desencadena las lluvias y del hoy llamado fenómeno de coalescencia es perfectamente correcta.

En su obra rebate con cálculos matemáticos sencillos algunas de las más serias objeciones puestas por aquel entonces a la teoría de la infiltración, relativas al origen de los pequeños manantiales que a veces existen muy cerca de las cumbres de cerros y montañas; concretamente la demostración sencilla que hace acerca de la posibilidad de que los pequeños manantiales de la colina de Montmartre de París procedan de las infiltraciones del agua de lluvia, es realmente convincente.

Las observaciones y experimentos de HALLEY acerca del índice de evaporación complementaron las ideas establecidas por Perrault y Mariotte, creando con ello el primer cuerpo de doctrina acerca del origen de las aguas subterráneas, de su desplazamiento, del caudal de los ríos y del ciclo hidrológico en general. Las ideas de Halley y los resultados de las numerosas experiencias hidrológicas que realizó pueden encontrarse en las referencias bibliográficas (9) y (10).¹

Bibliografía

- 1 ADAMS, F.D. (1928).- "The origin of springs and rivers. An historical review". *Fennia*, **50**, 1. Helsingfors. Finland.
- 2 ADAMS, f.d. (1938).- *The birth and development of the geological sciences*. (Cap. 12, pp. 426-460). Dover, New York.
- 3 ARISTOTELES .- *Meteorologica*. (Libro 2, Captítulo I)
- 4 BESSON, J. (1569).- *L'art et science de trouver les eaux et fontaines cachées sous terre*. Orléans. P. Trepperel.
- 5 BISWAS, A. K. (1970).- *History of Hydrology*. North Holland Pub., 336 pp.
- 6 BOWMAN (1911).- *Well drilling methods*. US Geol. Survey, Water Supply Paper 257, pp. 23-30.
- 7 DAVIS, S.N. & DE WIEST, R. (1966).- *Hydrogeology*. Wiley, 463 pp.
- 8 DESCARTES, R. (1644).- *Principes de la Philosophie*. (cuarto libro). Amsterdam. Lovis Elsevier.
- 9 HALLEY, E. (1687).- "An estimate of the quantity of vapour raised out of the see by the warmth of the sun". *Philosophical Transac. of the Royal Soc. of London*. 16. pp. 366-370.
- 10 HALLEY, E. (1691).- "An account of the circulation of watry vapours of the sea, and the cause of springs". *Philosophical Transac. of the Royal Soc. of London*. pp. 469-473.
- 11 JEAN FRANCOIS, F.J. (1653).- *La science des eaux qui explique en quatre parties la formation, communication, mouvements et mélange*. Rennes. P.Hallaudays.
- 12 JEAN FRANCOIS, F.J. (1665).- *Art des fontaines et science des eaux*. Rennes. P.Hallaudays.
- 13 KIRCHER, A. (1664).- *Mundus Subterraneus*. Amstelodami, Apud. J. Janssonium et E. Weyerstraten.
- 14 LEONARDO DA VINCI .- *Del moto e misura del acqua*. Publ. por F. Cardinali en: "Raccolta d'autori italiani che trattano del motto dell'acque" , Bolonia, 1826, pp. 273-450.
- 15 LUCAS, J. (1880).- "The hydrogeology of the lower greensands of Surrey and Hampshire" . *Inst. Civil Engineers Minutes of Proc.* London. vol 71, pp. 200-227.
- 16 LUCRECIO CARO T.- *De rerum natura*.
- 17 MARIOTTE, E. (1866).- *Traité des mouvements des eaux et des autres corps fluides*. E. Michallet. Paris.
- 18 PALISSY, B. (1580).- *Discours admirable de la nature des eaux et fontaines*. Versión inglesa: Univ. Illinois Press, 1957.
- 19 PERRAULT, P. (1674).- *De l'origine des fontaines*. Pierre le Petit Ed. Paris.
- 20 SENECA.- *Las ciencias físicas en los tiempos de Nerón*
- 21 TOLMAN, C.F. (1937).- *Ground Water*. McGraw-Hill. 593 pp.
- 22 VITRUVIO, M.P. .- *Tratado de Arquitectura*. (Libro VIII)

¹ Después de Perrault y Mariotte aún quedaba la incógnita de cómo era posible que en la atmósfera hubiera tanta agua. Halley se interesó por el tema cuando se le empañaban las lentes de sus telescopios en la isla de Santa Elena. Con medidas en tanques de evaporación calculó que en una mañana de verano del Mediterráneo se evapora el triple del agua que recibe de los ríos, es decir: que el agua que se evapora de los océanos puede explicar sobradamente el caudal de los ríos (Price, M, 1996, *Introducing Groundwater*. Chapman & Hall) (Nota de F. J. Sánchez, 2003)