

CONCEPTOS BASICOS DE HIDROGEOLOGIA.

- 1. *Introducción***
- 2. *El ciclo del agua***
- 3. *Existencia del agua subterránea***
- 4. *Hidrogeología***
- 5. *Conceptos básicos***
- 6. *Las aguas minerales y minero-medicinales***
- 7. *Conclusiones***

CONCEPTOS BASICOS DE HIDROGEOLOGIA.

Agustín Navarro Alvargonzález
Director de Aguas Subterráneas y Geotécnia
Instituto Tecnológico Geominero de España

1. INTRODUCCION.

Cuando yo era chico, se bromeaba entre compañeros que las lecciones sobre cualquier disciplina de nombre dudoso las iniciaba el profesor de turno con una frase del tipo de: La Hermenéutica... ¿Es ciencia?. La Hermenéutica... ¿Es arte? a partir de lo cual comenzaban ya las explicaciones. Con frecuencia he recordado esa antigua anécdota al tratar de la Hidrogeología, porque la Hidrogeología es difícil de definir, imposible de delimitar y conceptualmente muy confusa. Es un verdadero desacierto de nombre, una verdadera desgracia, y una de las principales causas de que sea desconocida como tal por la gran mayoría de las personas normales, y con razón. Hasta etimológicamente es un disparate, pues ya me dirán ustedes qué es eso de la geología del agua.

En fin, como el nombre existe, se usa y se abusa, vamos a hablar de ello. El primer concepto básico sería el de que la hidrogeología trata del estudio y conocimiento de la componente subterránea de las aguas terrestres, es decir, de aquellas aguas terrestres que se encuentran por debajo del suelo. Y conviene añadir enseguida que la etapa subterránea de las aguas terrestres es limitada y accidental, que esas aguas antes no eran subterráneas y que esas aguas después no serán subterráneas.

2. EL CICLO DEL AGUA.

Esto del agua continental (así llamada para distinguirla de la de los mares y de la de la atmósfera) de no ser subterránea, luego de sí serlo y finalmente de no serlo, se combina en lo que se llama "ciclo del agua".

El ciclo del agua puede describirse más o menos como sigue: En el subsuelo de los terrenos se encuentran formaciones geológicas que a veces consisten en rocas porosas (como las arenas y gravas), o en otras ocasiones en rocas fisuradas (como las calizas o algunas rocas volcánicas). Tanto los poros como las grietas de estas formaciones generan en el subsuelo una serie de oquedades o vacíos que constituyen el ámbito natural de las aguas subterráneas.

Cuando hay un aporte de agua, generalmente a través de la lluvia, o también por un curso de agua superficial, como un río, o un lago, o incluso en relación con un riego agrícola, parte del agua que cae sobre la superficie no se evapora (no vuelve a la atmósfera) ni escurre (aportando a un río), sino que se infiltra, y va rellenando los poros o grietas de las rocas del subsuelo y constituye lo que se llama agua subterránea.

El agua que se infiltra, poca o mucha, sigue descendiendo por gravedad hasta llegar a zonas por debajo de las cuales ya no hay poros o grietas. Entonces, como la alimentación tiene siempre un cierto carácter periódico, va acumulándose, llenando poros y grietas, formando lo que se llama la zona saturada. El nivel de agua en la formación geológica (llamada acuífero) seguiría subiendo de forma natural, acumulándose y finalmente, ese agua que va rellenando el terreno acuífero, o bien se pone en movimiento, porque le entra más por un sitio que por otro, o bien encuentra una salida natural originando manantiales,

fuentes y con frecuencia ríos.

El ciclo hidrológico del agua comienza con la evaporación a la atmósfera del agua del mar, sigue con las lluvias, continua con la evaporación y evapotranspiración (vuelta a la atmósfera desde el suelo o desde la vegetación), la escorrentía (corrientes esporádicas que la lluvia produce en los ríos), la infiltración y circulación subterránea (fenómeno lento, de días, hasta décadas y hasta milenios en ocasiones), las nacientes (que mantienen los ríos y descargan el agua subterránea) y finalmente los usos consuntivos por el hombre y la descarga de los ríos al mar. El ciclo se cierra volviendo el agua al mar o a la atmósfera.

3. EXISTENCIA DEL AGUA SUBTERRANEA.

La componente subterránea de ese ciclo no es un parte secundaria del mismo. El agua subterránea no es una ocurrencia rara, al contrario, es sumamente común. Las rocas que contienen agua tienen una extensión y una distribución espacial muy variable. Hay acuíferos que tienen unos cientos de metros cuadrados de superficie y unos pocos metros de espesor; por ejemplo, algunas riberas de riachuelos, o un pie de ladera de una colina, pero hay otros que tienen extensiones muy grandes, de miles de kilómetros cuadrados y centenares de metros de espesor.

El mayor acuífero que se conoce en el mundo es de las areniscas nubias, y se extiende por casi todo Egipto, Sudan, Arabia Saudí (por debajo del Mar Rojo), y por parte del Chad y de Libia, con una extensión total de más de quince veces la superficie de España. El noventa por ciento de un país como Bangladesh (aproximadamente del tamaño de Portugal) está sobre un acuífero, formado por el gran delta de los ríos Meghna, Bramaputra-Jamuna y Ganges-Padma. Muchos países tienen la mayoría o grandes áreas de su superficie ocupadas por acuíferos. Por el contrario, hay otros constituidos por terrenos mayormente impermeables, con lo que sólo contienen acuíferos en zonas muy especiales, como las atravesadas por fallas geológicas

España tiene una posición relativamente buena en relación con la cantidad de terrenos acuíferos, su importancia, y el volumen de aguas subterráneas que se almacenan en ellos y que circulan por ellos. Basado inicialmente en la naturaleza geológica de los terrenos en España se deriva un primer mapa en el que se identifican en grandes líneas las zonas donde se encuentran los acuíferos más extensos e importantes. Puede decirse que del orden de la mitad de la superficie española contiene estos acuíferos extensos, de los que se extraen grandes caudales de agua. Los acuíferos mayores se relacionan muy estrechamente con las redes fluviales, a las que alimentan durante muchos meses del año y de las que se recargan en otras ocasiones. Por otro lado, en muchas zonas españolas, donde no hay acuíferos extensos los hay sin embargo de pequeña entidad, en zonas de rocas fracturadas o alteradas por meteorización, con capacidad de suministrar pequeños caudales para abastecimiento de núcleos rurales, áreas dispersas de riego, soporte a industrias y otros usos, de ellos muchos de los que nutren a manantiales y captaciones minerales y minero-medicinales.

Conviene recordar que un tercio de la superficie de los regadíos españoles se nutren con captaciones de subterránea. Y que en cuanto a agua potable, más de once millones de españoles usan el agua subterránea como medio de abastecimiento. Ya se aprecia la importancia global sectorial que las aguas subterráneas tienen en nuestro país.

4. LA HIDROGEOLOGIA.

Claro que como el agua "subterránea", como tal, no se ve propiamente hasta que deja de serlo, es difícil de enseñar, de cuantificar, de medir, en resumen, de convencer a la gente (especialmente si no es usuario directo) de que cuente con ella como cuenta con el agua llamada, a veces impropriadamente, superficial.

El entender lo que es el agua subterránea, y el aprender a medirla y a utilizarla ha llevado muchos decenios años y ha ido de la mano del desarrollo de técnicas cuya primera utilidad iba destinada a otras materias. La Geología, en primer lugar, movida por el interés de la explotación minera. El estudio de las rocas como depósitos permeables por porosidad o fracturación, y las leyes por las que en ellas se mueven los flúidos, motivado todo ello por los petroleros. La hidrología general, al estudiar las relaciones entre las aguas de las lluvias, evaporación y escurrimiento superficial directo. La agricultura también, con el estudio del consumo de agua en plantas y cultivos, y otras varias tecnologías.

Toda esta "poutpurrie", en cuanto se refiere al agua subterránea se ha reunido en libros y tratados, a los que se ha dado el título genérico de Hidrogeología.

Ya se comprende la extensa gama de materias que abarca la hidrogeología, incluso limitándose al aspecto hidrológico, sin extenderse a las connotaciones sociales y económicas, y por ende a las legislativas y administrativas.

En lo que sigue vamos brevemente a repasar varias ideas básicas del comportamiento de las aguas subterráneas, ideas que son fundamento de lo que se llama hidrogeología. Al final, sólo mencionaré, muy de pasada aspectos específicos de la hidrogeología en relación con las aguas minerales y minero-medicinales, ya que sobre estos temas hablarán más extensamente los ponentes que me siguen.

5. CONCEPTOS BASICOS

Los acuíferos consisten en sistemas de rocas o formaciones geológicas, homogéneas o heterogéneas, con espacios huecos, ya sean éstos poros o ya sean grietas o fracturas, llenos de agua. En general, lo que identifica una unidad acuífera, o un sistema acuífero en el sentido de hacerlo diferente de otro es que dentro de cada uno de ellos existe continuidad física del agua contenida en la zona de saturación. Es decir, saltando de una molécula de agua a otra molécula contigua puede recorrerse todo el sistema, como se dice en la Canción del Pirata de Espronceda, "del uno al otro confín". Dos sistemas acuíferos son individualmente diferentes cuando esto no ocurre, cuando para pasar del agua de uno al agua de otro necesariamente tenemos que atravesar una zona seca.

Con esta definición se comprende que los acuíferos individuales pueden ser inmensos o pueden ser diminutos.

Generalmente, en los mapas de conjunto, con escalas enormes, sólo se representan los acuíferos grandes, los que acabamos de llamar "inmensos". Los diminutos habría que representarlos a escalas de 1:1000 a 1:1.

El conocimiento de cada acuífero, sea grande o sea chico requiere el conocimiento de su recarga,

el conocimiento de su constitución interior, es decir, de la forma en que el agua está y se mueve dentro del conjunto rocoso, de los procesos químicos y físicos que acontecen al agua durante el tiempo que está en esas rocas y por último el proceso por el cual el acuífero se descarga, bien de forma natural en manantiales y ríos, bien de forma artificial mediante labores de captación.

Yendo de lo menos complicado a lo más complicado hay que decir que, una vez se ha identificado geológicamente su identidad corporal, su geometría y naturaleza de las rocas que lo constituyen, lo que primero se puede averiguar de un acuífero, es la descarga, es decir, el agua que aflora, de una forma o de otra. Se miden los manantiales, se miden las extracciones por captaciones, pozos, galerías y perforaciones, se miden sus descargas difusas a los ríos mediante aforos diferenciales en secciones diferentes en los cauces y se completa así una estadística del volumen y de la calidad, mediante los oportunos análisis, de las aguas que abandonan el acuífero. Las cifras obtenidas, tal como ocurre con las medidas de aguas superficiales son variables a lo largo del tiempo, y de los tiempos, de manera que las redes de muestreo y medición han de mantenerse para obtener series históricas compatibles y comparables, tal como se hace con los aforos de los caudales de los ríos y con las mediciones meteorológicas.

Es natural que cuanto mayor sea el acuífero, y mayor su descarga, resulte más fácil identificarla y medirla. La dificultad para realizar estas operaciones aumenta al disminuir la entidad del acuífero, hasta llegar un límite en el que resultan prácticamente imposibles de llevar a cabo.

La segunda cuestión es conocer los procesos que suceden con el agua que hay en el interior del acuífero. Básicamente se realizan dos clases de tareas: la primera es la medición de niveles, y la segunda es la toma de muestras para análisis físicos, químicos y biológicos.

La medición de niveles sirve para "aforar" el acuífero, y en el fondo se basa en idéntico principio que las mediciones de caudales superficiales con escalas limnimétricas. A partir de los conocimientos previos de la sección de paso y de la velocidad del agua, la medida del nivel es convertible de forma inmediata en caudales, es decir, en volúmenes de agua que circulan en la unidad de tiempo. La medición de niveles en agua subterránea también sirve, como en las aguas de superficie, para aforar el contenido del embalse o depósito.

Las técnicas para medir velocidad de circulación y sección de paso son diferentes en las aguas subterráneas y en las superficiales. Estas se caracterizan en general por una sección pequeña (sección sumergida del río o arroyo) y por una velocidad de circulación grande (diques queñas (de menos del milímetro hasta algún metro por día).

En aguas subterráneas la identificación del caudal que circula se basa en una Ley, que también usan los petroleros) que se llama Ley de Darcy y que dice que el caudal que circula es igual a la sección (identificado por la geología y la geofísica), por el gradiente (identificado por medidas de nivel en puntos diferentes) por el coeficiente de permeabilidad del terreno, un índice del número relativo de huecos del acuífero, que se obtiene a su vez generalmente mediante ensayos de bombeo en pozos o perforaciones.

El estudio del acuífero implica pues el determinar esas cosas: la geometría, las permeabilidades y los gradientes (también llamados piezometría), para lo cual se requiere un trabajo de campo considerable. Sin embargo, geometría y permeabilidad son invariables, no cambian en el tiempo, y pueden compararse a la topografía y al estudio de suelos y terrenos que se necesita en las aguas superficiales. En cuanto a los gradientes, como para las medidas de descarga de ríos, se necesitan mediciones periódicas de niveles.

En las aguas subterráneas, las medidas de nivel (que se hacen midiendo el nivel del agua en una perforación o pozo que corte al acuífero) son doblemente importantes si nos percatamos que cumplen una doble función, que en aguas superficiales se realiza por separado. Cumplen la función de aforar la circulación por los acuíferos, como ya se ha mencionado, pero también cumplen la función de aforar el agua almacenada en los embalses subterráneos, que en las aguas superficiales se hace con escalas limnimétricas colocadas en el vaso de los embalses.

La comparación de medidas simultáneas en distintos pozos del nivel de aguas subterráneas sirve para cuantificar el agua que circula.

Los cambios de nivel a lo largo del tiempo en un mismo pozo de medida, sirven para cuantificar la variación en el volumen de agua subterránea almacenada en el acuífero.

Estas son las principales semejanzas y diferencias entre el estudio de las aguas de superficie y las subterráneas en cuanto a su existencia y circulación por los ríos y acuíferos respectivamente. La forma física de presentación de ambas marca los parecidos y las desigualdades. De entre éstas últimas, las más importantes y notorias son las siguientes:

Las aguas superficiales se caracterizan en la naturaleza (siempre a grandes rasgos) por grandes caudales y pequeños depósitos.

Las aguas subterráneas por pequeños caudales y grandes depósitos.

Para paliar el pequeño almacenamiento de las aguas de superficie, se construyen embalses. Para paliar la pequeña velocidad de circulación de las aguas subterráneas, se bombean.

Dentro del estudio de las aguas subterráneas en los acuíferos, una parte no menos importante que lo que se acaba de mencionar corresponde a los cambios que las aguas pueden sufrir en cuanto a su calidad y temperatura. El agua que proviene de la atmósfera y de los suelos puede llevar disueltos gases, sólidos y transportar organismos hacia el interior de las aguas que saturan los acuíferos. Además, en éstos, las condiciones físicas de presión y temperatura pueden ser diferentes, así como el entorno químico, tanto de las aguas ya almacenadas como el de las propias rocas que hacen de almacén.

De la misma manera que los ríos, al atravesar zonas industriales, urbanas o agrícolas generalmente modifican su composición por los aportes que reciben, también la calidad del agua en los acuíferos es susceptible de modificación. Es de todos conocido el peligro de contaminación en toda Europa que el exceso de abonos nitrogenados representa para los acuíferos que subyacen las zonas de producción intensiva agrícola.

Las posibilidades de intercambio iónico y modificación de la calidad químico-biológica son prácticamente infinitas y cada caso conlleva un estudio "ad hoc".

Por último, en aguas subterráneas queda la cuestión de la recarga, que no hay forma de medir directamente. Afortunadamente, también las aguas subterráneas se someten a las condiciones de continuidad física que dicen que lo que entra menos lo que sale debe ser igual a la variación de lo almacenado. Ya hemos visto que en la mayoría de las ocasiones, y sobre todo para unidades de cierta magnitud, la descarga y el cambio en almacenamiento pueden medirse con mayor o menor exactitud y generalmente con mucha mayor exactitud de lo que suponen los no profesionales en la materia, de manera

que una medida indirecta de la recarga se tiene a mano en la mayoría de las ocasiones.

Vienen a favorecer estos cálculos indirectos el hecho de que, a diferencia de las descargas superficiales que son prácticamente instantáneas (recordemos las riadas y aluviones), y por tanto muy difíciles de medir, los cambios en agua subterránea son muy lentos, no ya de meses, sino de años y hasta de decenios, todo lo cual permite la acumulación de largas series históricas de medidas, que sirven de base adecuada a los cálculos con lo que las probabilidades de introducir errores por medidas defectuosas no existen apenas.

Por otro lado, hay también una serie de metodologías en campos técnicos diferentes, que están igualmente encaminadas a medir indirectamente la infiltración. Nos referimos a medidas meteorológicas y agronómicas que comparan los volúmenes de agua llovidos con los consumos por evapotranspiración, dejando como residuo la suma de escorrentía superficial e infiltración. Estimada aquélla tenemos estimada ésta.

Los resultados independientes de estos dos circuitos, el agro-meteorológico y el hidrogeológico, deben coincidir en las cifras de infiltración. Todo esto no es fácil, pero si recordamos que el tema se lleva estudiando desde hace ya más de treinta años no es sorprendente que los conocimientos actuales estén bien fundados para la mayoría de necesidades prácticas.

Cuanto más pequeño es el acuífero, más problemas nos presenta de cuantificación y de identificación. Económicamente, en la mayor parte de los casos no compensa el gasto de una investigación a fondo, ni la inversión de tiempo que se requiere, de manera que no se tienen los parámetros disponibles. A cambio de eso se suele ir a la obra directa, de la cual obtenemos resultados prácticamente finales sin toda la parafernalia previa.

Por ejemplo, para abastecimiento urbano en pequeñas localidades o aglomeraciones rurales, un estudio previo a fondo, que diera garantías de éxito (o de eliminar la zona por no tener acuíferos) es mucho más caro que el realizar dos o tres perforaciones de investigación de pequeño diámetro, de forma que casi en todos los casos se va a esta solución. Se realiza un reconocimiento superficial, geológico e hidrogeológico que no requiere más que una rápida visita sobre el terreno, el examen de antecedentes de estudios anteriores, el cotejo en una base de datos de información de puntos cercanos, y quizás una vista a la foto aérea o de satélite. Tras lo cual se va a la realización de sondeos directamente.

Si el asunto es de mayor envergadura, como puede ser la ordenación de un sistema importante como el Campo de Níjar, por citar un ejemplo, u otros de similar calibre, entonces sí es necesaria toda una investigación previa. Ambos tipos de investigaciones y prospecciones se han desarrollado simultáneamente desde hace muchos años en multitud de puntos del país, y se siguen realizando actualmente.

6. LAS AGUAS MINERALES Y MINERO-MEDICINALES.

En el caso de las aguas minerales y minero medicinales, en muchas ocasiones la situación es complicada.

Por un lado, y siempre con la excepción de algunos casos particulares, se trata de acuíferos pequeños, dentro del conjunto nacional de sistemas acuíferos, de manera que los estudios, cuando existen, son pocos, parciales e insuficientes. Por otro lado, son centros de utilización con una importancia económica y social

notable, de forma que tampoco pueden tratarse a la ligera.

Muchas de las aguas minerales y minero-medicinales son también aguas termales, lo que indica que son aguas que circulan por capas profundas del subsuelo. Ya se sabe que, en promedio, la tierra está un grado más caliente cada cuarenta metros más de profundidad, así que un agua que nos salga a unos diez grados más de temperatura que el agua superficial puede significar que ha circulado a cuatrocientos metros de profundidad, antes de surgir.

Cuanto más caliente un agua, más actividad química puede desarrollar. Hay aguas que han circulado a profundidades de muchos cientos de metros, cerca de zonas volcánicas, donde los gradientes geotérmicos son todavía mayores que el apuntado más arriba, y luego se han enfriado antes de salir a la superficie. Recuerdo que eso ocurría en el campo geotérmico de El Tatio, al norte de Chile en la frontera con Bolivia. El agua, aunque sólo templada llevaba disueltas cantidades anormalmente grandes de sílice, indicador de haber estado sometida a temperaturas mucho mayores.

La naturaleza de la roca por la que circula el agua, y la presión a que se encuentra sometida son también factores determinantes, tanto o más que su temperatura para incidir en los cambios químicos de calidad. Muchas aguas subterráneas que atraviesan terrenos salinos y yesíferos del Keuper, por toda la Ibérica, Levante y Sur, afloran cargadas de sales diversas.

Es todo este grupo especial de aguas el que constituye las aguas minerales y minero-medicinales. Muchas de ellas se conocen y utilizan desde antiguo, aunque pocas de ellas tienen estudios hidrogeológicos suficientes. Ya he mencionado que por su doble característica de acuíferos pequeños y de circulación profunda son especialmente complicadas de reconocer y valorar. Sin embargo, esto es lo que se necesitaría especialmente ahora, ya sea para ampliar sus caudales, o para garantizar la continuidad de los mismos y la de sus características físico-químicas y terapéuticas para posibles mejoras, y para renovación y ampliación de establecimientos o industrias de envasado asociadas.

7. CONCLUSION.

Espero que estas ideas generales que hemos comentado referentes a las aguas subterráneas, ideas necesariamente atropelladas por la necesidad de ceñirse al tiempo de la ponencia, estas ideas, repito, sirvan para facilitar a los menos familiarizados con la hidrogeología el seguimiento de las explicaciones de los ilustres ponentes que me van a seguir.

Muchas gracias.