

las ventajas apetecibles de acierto y de rapidez que pueden desearse, tratándose de un asunto de tanta delicadeza y complicación como la que entrañan las revisiones de los precios de las obras por contrata.

JOSÉ CABESTANY.

EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN RELACIÓN CON EL SANEAMIENTO DE LAS URBES

POR

D. FRANCISCO RICART Y GUALDO

(CONTINUACIÓN) (1).

Aguas subterráneas.

El alumbramiento de aguas subterráneas en cantidad suficiente para el abastecimiento de una aglomeración urbana, que posea cualidades higiénicamente aceptables, es uno de los estudios más expuestos a errores, ya que exige el conocimiento aproximado de las cantidades de agua absorbidas y el conocimiento de la constitución del terreno que se ha de explorar.

Las aguas subterráneas, por el hecho de proceder, como las de los ríos, de las que han caído en la superficie del terreno, se contaminan con las sustancias orgánicas cuyo origen hemos estudiado, y que constituyen un elemento de vida y propagación de los gérmenes soprofitos y patógenos que son arrastrados por ellas, al pasar del suelo al subsuelo; este líquido absorbido, bien de un modo natural, bien por trabajos de alumbramiento, sale al exterior, después de un recorrido más o menos largo y de condiciones diversas, según la constitución geológica del terreno.

Estas aguas, al aparecer al exterior, presentan unas veces caracteres de potabilidad y otras su contaminación e impurezas son las mismas que han adquirido en la superficie del terreno, de esto se deduce la necesidad de dos estudios diversos indispensables, tales son: 1.º, la depuración natural por el terreno; y 2.º, el conocimiento de las condiciones necesarias del mismo para que el agua alumbrada sea higiénicamente pura, o sea, la influencia del terreno en la calidad de las aguas.

1.º DEPURACIÓN NATURAL POR EL TERRENO.

Al tratar de la síntesis o formación de la materia orgánica, se ha sentado el principio de que su origen reside únicamente en los vegetales que transforman el oxígeno, el hidrógeno, el ázoe y el carbono en materia albuminoide de compleja constitución molecular, que por el ciclo de la transformación de la materia se desorganiza de manera tal, que por fases escalonadas, que dan lugar a elementos cada vez menos complejos o de constitución molecular más sencilla, acaban reduciéndose de nuevo a ázoe o nitratos, oxígeno, hidrógeno y carbono; los agentes de esta descomposición del elemento complejo a elementos simples, son, indudablemente, los gérmenes microbianos que pululan en el terreno, con sus secreciones, las reacciones de las distintas sustancias por ellos elaboradas, que dan por resultado reducciones y oxidaciones, del mismo modo que a oxidaciones y reducciones fué debida la formación de la materia orgánica, verificándose esta descomposición por etapas sucesivas y no bien definidas aún, a semejanza de lo que ocurre con la descomposición de los cadáveres

en elementos minerales o simples, que se debe también, en sus bien definidas y distintas fases, a la aparición y dominio de parásitos especiales para cada una de ellas.

Veamos, aunque sea someramente, el proceso de la descomposición: El agua, al precipitarse en lluvia y caer sobre la superficie terrestre, encuentra y se incorpora las materias orgánicas de origen animal y vegetal, solubles e insolubles, que en terreno permeable se infiltran o penetran en él con el agua que los vehicula, empezando aquí la serie de fenómenos que tienen por efecto la disociación que estudiamos. El primero de ellos es debido al *poder fijador* del terreno, que Duclaux llama *poder absorbente* o *de selección*, y el doctor Calmette denomina *de teñido*; terminado el vertido, y simultáneamente con la absorción, penetra el aire en la masa permeable, poniéndose en contacto con los productos orgánicos retenidos; a los gérmenes aerobios que en su masa contiene el terreno, se suman los del mismo carácter que pululan en el agua absorbida, y estos microorganismos, con las diastasas que producen y por la acción química de la atmósfera del terreno, especialmente de su oxígeno, dislocan y oxidan las sustancias orgánicas de orden más complejo en otras simples, tales como las aminas, amidos y amoniaco o sales amoniacaes, en cuya transformación juega un papel muy importante el grado de dilución, circunstancia que deberá tenerse en cuenta al estudiar las instalaciones de depuración natural del agua, provocada artificialmente, o sea en las captaciones de aguas superficiales por medio de galerías o pozos filtrantes, drenajes, etc.

Efectuada esta primera fase de la descomposición o dislocación de la materia orgánica, se inicia y desarrolla también por transformaciones escalonadas la segunda, o sea la de la *nitrificación*, que tiene lugar por la combinación del ázoe orgánico y el oxígeno del aire y por la acción microbiana o de los fermentos nitrificadores de Winogradski, cuyos elementos y acciones transforman el amoniaco en nitritos, que es la primera fase de la oxidación, por el fermento nitrosomas y nitrosococus, siendo la segunda la transformación de los nitritos en nitratos, por la acción del fermento nítrico, o sea el nitrobacter. Es evidente que para que esta transformación o mineralización total tenga lugar, desde el momento que es debida a la acción microbiana, es preciso que el medio de cultivo, o sea el terreno, sea húmedo, ligeramente alcalino y a no muy baja temperatura, pues a la menor de 15 grados no se verifica y alcanza su máximo más allá de los 55. Los nitratos obtenidos son altamente nutritivos para las plantas, lo que explica el desarrollo de ellas por la acción de las lluvias.

En el proceso de nitrificación, o segunda fase, se ha logrado la depuración con sólo haberse puesto debidamente en juego el terreno como soporte de los elementos putrescibles y los fermentos aerobios o de Winogradsky, como elementos activos o de oxidación.

El mecanismo de esta depuración total biológica es el mismo que el de los procedimientos hoy en uso para la depuración de las aguas residuales, tales como los de irrigación cultural, el de filtración intermitente, el de mejor aplicación práctica, por ser mayor su rendimiento, de filtros percoladores. En esta depuración biológica se comprueba la aserción de que la Naturaleza tiene medios de defensa propios, que con sólo estimularlos o ponerlos debidamente en acción logra normalizar los elementos accidentalmente anormales, que constituyen un peligro para el hombre.

2.º INFLUENCIA DEL TERRENO EN LA CALIDAD DEL AGUA.

La depuración biológica del agua absorbida por el terreno sólo tiene lugar, y de esta base se ha partido al describir su proceso, cuando el terreno en que se verifica la absorción es permeable,

(1) Véase el número anterior.

cualidad que no debe confundirse con la de poroso; por consiguiente, al hacer el estudio del terreno para conseguir caudal suficiente y calidad aceptable de agua de abastecimiento, será indispensable conocer las cualidades de esas masas de absorción, después del cual se estudiarán sucesivamente la forma en que las aguas penetran y se propagan por el subsuelo, así como también el modo cómo se verifican sus emergencias y apreciación del caudal de las mismas.

A) TERRENOS PERMEABLES.—A este estudio debe preceder, para la mejor interpretación del lenguaje y aun de las cartas geológicas, el precisar debidamente la distinción entre el *suelo* y el *subsuelo*, muchas veces confundidos, por lo cual se emiten conceptos erróneos. Llámese el suelo a la parte superficial del terreno o de la primera capa geológica, modificada por los agentes atmosféricos, a la que se suman y mezclan los elementos acarreados por las aguas, transportados por los vientos, algunas veces por residuos de las industrias y por los restos de cuerpos organizados, especialmente vegetales, que constituyen el humus; donde termina esta capa, empezando otra de formación geológica determinada, es el subsuelo. Los mapas geológicos hacen abstracción del suelo y sólo mencionan o dibujan la capa superior del subsuelo. Para la geología poco interés tendrá el estudio del suelo, como no sea el de deducir, mediante su examen, la constitución del subsuelo; en cambio, para el higienista, y en especial para los estudios de abastecimiento de agua, el suelo superficial, esta formación geológica modificada y probablemente en vías de modificaciones ulteriores, tiene una importancia trascendental desde el momento que constituye la superficie receptora de las precipitaciones atmosféricas, y por consiguiente el valor higiénico del agua dependerá de su naturaleza física y química, de su alterabilidad, de su permeabilidad, de su grado de fisuración y de la cantidad de materias orgánicas que contenga.

Teóricamente, todos los elementos de la corteza terrestre son porosos y, por consiguiente, por estos poros, siempre que las condiciones necesarias de carácter físico se cumplan, podrá penetrar el agua; la arcilla pura, la creta, las pudingas, que se consideran como materias impermeables, absorben o se dejan atravesar por el agua, si a ésta se la somete a presión suficiente; prueba de esta afirmación es que todas las rocas, aun las más compactas, contienen cierta cantidad de agua, llamada agua de cantera, en cantidades variables, siendo, por ejemplo, de 0,1 por 100 de su volumen en el sílex, del 2 al 5 por 100 en la caliza y granito y hasta el 30 por 100 en la arcilla.

Para los efectos de este estudio no se tendrá en cuenta esta permeabilidad, debida a la porosidad, y sólo clasificaremos a los materiales receptores del agua de lluvia en permeables e impermeables.

Si toda la superficie de la tierra estuviese constituida por materiales impermeables sin solución de continuidad alguna, los caudales subterráneos de agua serían escasísimos. En la Naturaleza, como se ha visto en otro lugar, una gran parte del agua de lluvia es absorbida por la tierra, sea o no permeable, de modo que aun en terrenos formados por elementos impermeables, aquella absorción se verifica, si no a través de los intersticios que dejan entre sí los elementos, por lo menos por otras soluciones de continuidad.

De aquí la clasificación de la permeabilidad en *directa* e *indirecta*; llámase directa aquella que se verifica de un modo uniforme en la superficie por las formaciones detríticas, es decir, cuando los elementos de la masa receptora del agua de lluvia, sea cualquiera su tamaño y composición, son independientes unos de otros, fácilmente separables, incoherentes, sin cemento de alguna clase que los una, dejando entre sí intersticios que separan cada

uno de esos elementos del terreno. Los aluviones, la tierra vegetal, las arenas, gravillas y gravas, son terrenos de intersticios, que se diferencian sólo por las dimensiones de sus elementos y por su grado de permeabilidad, que en general depende de la cantidad de arcilla que se mezcla con ellos. El agua, al caer sobre el terreno, por la acción de la gravedad, penetra en él, oponiéndose solamente a este descenso el rozamiento, la capilaridad y la tensión superficial. *Solamente* en esta clase de terrenos se verifica la depuración biológica del agua tal como se ha descrito. Es cierto que entre lo que hemos llamado rocas porosas hay algunas que pueden catalogarse entre las permeables para los efectos de la depuración; tal sucede con la creta blanca que se deja atravesar por el agua, no en virtud de los intersticios de su constitución, sino por sus pequeñas fisuras o grietas, imperceptibles a simple vista, de que está dotada; algunos gres areniscos, las pudolanas y piedra pómez, por la misma razón se podrán considerar como de intersticios.

La permeabilidad indirecta no es otra cosa que la propiedad de los terrenos no dotados de intersticios, con un grado de porosidad variable que permiten el paso del agua hasta las capas interiores, por las soluciones de continuidad, fisuras o hendiduras, que no se derivan de su constitución física, sino de perturbaciones accidentales, llamadas *litoclasas* según la nomenclatura de Daubrée, que a su vez las clasificó, por sus dimensiones y formas, en leptoclasas, piezo-clasas, diaclasas y paraclasas o fallas; la clasificación usual y suficiente para este estudio de las litoclasas es la de *juntas de estratificación*, paralelas al plano horizontal según el cual han tenido lugar los sedimentos, y que por acciones tectónicas han perdido en muchos casos la horizontalidad; y las *diaclasas*, que son las hendiduras que cortan a aquéllas, bien perpendicularmente, bien oblicuamente. Las calizas son las rocas fisuradas por excelencia, pudiéndose también incluir entre las que presentan litoclasas características, algunos gres compactos y duros, las cretas de exclusiva composición caliza, los esquistos, las formaciones detríticas aglutinadas por un cemento duro, tales como las pudingas de Montserrat, etc.

Penetración y propagación del agua subterránea.

Las aguas que penetran en terrenos permeables propiamente dichos, es decir, de constitución detrítica, cuyos elementos no están unidos unos a otros, van profundizando, en virtud de la gravedad, hasta llegar a los primeros estratos impermeables, impregnando todo el subsuelo, imbibándose en él; el tipo de esta clase de terrenos es el de arena, que es permeable por excelencia; el substrato, impermeable inmediato a la arena, se supondrá que es de arcilla, cuya superficie es más o menos inclinada, más o menos rugosa; la imbibición o filtración del agua en la masa de arena, que se supone homogénea, será uniforme, continua; los granos, todos ellos estarán completamente sumergidos, todos los intersticios se llenarán de agua, de modo que la masa permeable desde la superficie superior del estrato impermeable hasta cierta altura, variable con la cantidad de agua absorbida, estará embebida, mojada, sumergida; este nivel es el nivel hidrostático o piezométrico de la capa de agua subterránea, es decir, de esta primera capa subterránea, o sea la capa llamada *freática*, que es la más próxima a la superficie del terreno, llamada también *capa ordinaria* o *capa de los pozos*, cuya superficie, es decir, la que viene determinada por el nivel piezométrico, es aproximadamente horizontal, por razón de que los diversos y múltiples intersticios se comportan como vasos comunicantes, y el no existir la perfecta horizontalidad es debido a que por una parte la capilaridad tiende a elevar el nivel hasta la superficie del terreno, y en se

gundo lugar por las emergencias del agua, que determinan un descenso de nivel o una pérdida de carga, cuyas emergencias dependerán de los accidentes topográficos de origen variable, bien debidos a erosiones, bien a fracturas o dislocaciones de orden tectónico. Siempre que se cumpla la condición de homogeneidad en la masa permeable, en cualquier punto en que se perfora un pozo hasta nivel inferior al hidrostático, se encontrará agua; si por la presencia de masas arenosas aglutinadas u otras arcillosas deja de existir la homogeneidad, podrá no tener éxito la perforación.

En general, el agua de la capa freática habrá sufrido la depuración por filtración o biológica y podrá ser higiénicamente aceptable si la masa permeable es de suficiente espesor para que aquella se verifique de un modo completo, o si el substrato impermeable no recibe por otras causas aguas de superficie sin filtración suficiente, o, últimamente, si por la larga duración del vertido de aguas contaminadas en la superficie, tiene lugar el colmataje en la masa filtrante, en cuyo caso la depuración biológica no se verificará. En los terrenos de aluvión existe siempre la capa freática, de pureza más o menos perfecta, según el tamaño de sus elementos o las influencias de contaminaciones accidentales muy posibles en el fondo de los valles.

Estudiando el terreno en profundidad, después del primer estrato impermeable, pueden existir otros sucesivos de este mismo género, separados entre sí por otras masas impermeables, en las que se acumulan las aguas que van a parar a ellas, bien por las roturas, grietas o dislocaciones del primer estrato impermeable, bien por infiltración directa, debido a que por su inclinación cortan y afloran en la superficie del terreno; estas capas de agua, profundas o artesianas, generalmente, a causa de los desniveles del estrato impermeable que las sustenta y a la carga a que están sometidas, en virtud de su profundidad con relación al punto de origen, están dotadas de movimiento en sentido de los afloramientos, emergencias o manantiales a que dan lugar naturalmente, o en el de los pozos abiertos por la mano del hombre, que aprovechándose de la carga de esas masas de agua, los perfora hasta una de las capas profundas, dando lugar a los que toman el nombre de artesianos, que en general, en virtud de la presión, sus aguas alcanzan alturas mayores que la de la superficie del terreno, facilitando con ello su aprovechamiento. Por las condiciones de quietud de las capas freáticas se las denomina también *estáticas*; por razón de estar encerradas entre dos estratos impermeables y estar dotadas de mayor movimiento, a las capas artesianas se las llama *cautivas* o *dinámicas*. En general, las capas artesianas ofrecen mayor garantía de pureza que las freáticas, a pesar de lo cual, por multitud de causas cuya enumeración sería prolija, pueden presentar contaminaciones más o menos acentuadas.

En los terrenos de formación prácticamente impermeable, que hemos denominado de permeabilidad indirecta, es decir, en los de fisuras o fallas, cuando éstas se rellenan de materias permeables, el agua de lluvia, al ser absorbida, no lo es de un modo uniforme en toda su superficie mojada—excepción hecha de aquellos en que, por descomposiciones superficiales o por arrecos, están cubiertos de una capa más o menos homogénea de materias permeables—, sino que se infiltra por los puntos más o menos próximos en que se abren las fisuras, roturas, grietas, abismos, etc., o sea por las soluciones de continuidad de la superficie (diaclasas o juntas de estratificación), que por plegamientos o dislocaciones afloran en la superficie con inclinaciones variables, de modo que la rapidez de la absorción es función del número de estas soluciones de continuidad, y de aquí que cuanto menor sea el número de ellas mayor será la contaminación del

agua absorbida, porque habrá tenido que recorrer mayor superficie, en la cual están depositadas las materias orgánicas, causa única de la contaminación.

En este caso, los depósitos del agua en el subsuelo no se hacen en la forma vista para los terrenos detríticos permeables, es decir, imbibándose en él hasta la profundidad del primer estrato impermeable; es decir, no se forma la capa freática, sino que el líquido, precipitándose por las fisuras, grietas o fallas, envuelve los bloques o cuerpos poliédricos determinados por las intersecciones de las diaclasas y juntas de sedimentación, formando depósitos en los espacios que dejan entre sí, hasta llegar al estrato impermeable; en esta absorción no se verifica el filtrado, y claro está que la depuración biológica no tiene lugar; el terreno no tiene el carácter de filtro y no desempeña otro papel que el de criba o tamiz, ya que en el laberíntico recorrido subterráneo formado por las juntas y diaclasas, las infiltraciones de gotas de lluvia o de pequeños cursos superficiales se van uniendo, engrosando, formando arroyos, primero, y verdaderos ríos subterráneos después, análogamente a lo que ocurre con las aguas superficiales, formando, como éstas, cascadas, remansos, etc.

En algunas regiones, en el interior del terreno impermeable o de fisuras se forman verdaderas bolsas de agua sin relación alguna con la red subterránea, debido a plegamientos que aíslan a una zona de fisuras entre terrenos impermeables cuya superficie tiene mayor cota que aquella; tal sucede en algunos puntos de Bélgica, en los que estos plegamientos, que han aislado volúmenes sinclinales de calizas devonianas y carboníferas, entre erecciones anticlinales de esquistos impermeables de mayor altitud que las envuelven en todos sentidos. Estos fenómenos dan lugar a frecuentes errores en las exploraciones, pues las aperturas de pozos en esas calizas dará la sensación de la existencia de capa freática; el agua de estas bolsas es sospechosa desde el punto de vista higiénico, pues si bien el paso por las tenues juntas de sedimentación de los esquistos que han perdido su horizontalidad puede considerarse como una filtración, no ocurre lo mismo con el agua que se infiltra a través de las calizas más bajas, y que la misma quietud del líquido de las bolsas disminuye el poder depurador del oxígeno disuelto y el de la atmósfera subterránea.

De las investigaciones espeleológicas modernas, por testimonio de las cavernas y cursos subterráneos de agua, se ha deducido la existencia en ellas de aire respirable, por consiguiente de oxígeno, de modo que en estos caudales subterráneos puede tener lugar una depuración más o menos perfecta, a pesar de la ausencia del gran elemento depurador que es la luz, pero suficiente para que parte de la materia orgánica y gran número de gérmenes desaparezcan, en virtud de un proceso semejante al de la autodepuración de los cursos superficiales.

Puede darse el caso de que la depuración subterránea sea perfecta, cuando los cursos encuentran en los ensanchamientos o cavernas grandes cantidades de detritus que se interponen en su camino y que por la pequeñez de sus elementos se comportan como verdaderos filtros.

Sería prolijo enumerar los múltiples accidentes subterráneos que se pueden presentar en los terrenos no filtrantes; los llamados fenómenos de Karst, o sean los observados en exploraciones espeleológicas de las calizas, tales como cavernas, abismos, grutas, etc., el modo como se conducen como filtrantes las cretas, cuyo estudio ha dado lugar a curiosas controversias y a incontables estudios espeleológicos que explican anomalías en las emergencias que sólo las investigaciones y estudios de las erosiones y accidentes de orden tectónico pueden explicar, son cuestiones para ser tratadas en un estudio más extenso que el que someto a vuestra consideración.

Emergencias.

Desde antiguo se viene dando el nombre de *manantiales* a todas las emergencias, es decir, a todo caudal de aguas subterráneas que sale al exterior. Varias han sido las clasificaciones de los manantiales, basadas en la procedencia de agua y en la forma o posición del punto de emergencia; así, la más admitida es la de *manantiales flonianos* o *diaclasianos*, *manantiales de vertido* y *manantiales de emergencia* o de *talweg*, que a su vez se subdividen en otros con diversas y más o menos acertadas denominaciones. Janet en su Memoria, presentada a la Academia Francesa de Ciencias en 1900, sólo admite la clasificación en *manantiales de afloramiento* y de *talweg*.

Martel propone una complicada división de los manantiales; Belgrand, que funda su clasificación en la naturaleza de los terrenos en que aflora el agua; Heim, Zurcher, Hans y varios más, han presentado otras tantas clasificaciones. Para el higienista carecen de importancia todas las que no se funden en las condiciones de potabilidad del agua o, mejor dicho, en su valor higiénico; esta potabilidad bacteriológica, o sea la asepsia, sabemos que depende de la naturaleza de las formaciones geológicas que recogen el agua de lluvia de la superficie; sabemos también que un terreno es tanto mejor depurador, cuanto menor es el tamaño de sus elementos y de sus huecos, y que puede sentarse el principio de la geología aplicada a la higiene, que las arenas o tierras finas homogéneas y permeables, en un espesor variable de 2 a 6 metros, retienen y destruyen los gérmenes patógenos del agua. Las que han atravesado esta clase de terrenos han sufrido una verdadera *filtración*, mientras que las aguas absorbidas por terrenos de fisuras, no pueden calificarse de filtradas, sino que sólo han sufrido la *infiltración*. De aquí la clasificación, que desde el punto de vista higiénico me parece más lógica: Llámese *emergencia* de un modo general, a los afloramientos de las aguas subterráneas, que se clasifican en *manantiales propiamente dichos*, procedentes de terrenos de intersticios, caracterizados por su pureza bacteriológica y la constancia de su caudal y temperatura y las *resurgencias* (falsos manantiales), procedentes de terrenos fisurados, que se caracterizan por su impureza bacteriológica permanente y temporal, caudal inconstante, temperatura variable, etc., es decir, que los *manantiales* proceden de aguas que impregnan toda una zona de terreno y en general en ella se presentan numerosos y de no muy gran caudal, próximos unos a otros, y en la mayor parte de casos sus puntos de emergencia vienen determinados por depresiones topográficas de orden tectónico o debidas a erosiones; las *resurgencias*, procediendo de la red grietas o fisuras (diaclasas o juntas de estratificación), forman verdaderos ríos subterráneos, que al emerger son caudalosos, muy distantes unos de otros y de gasto variable que aumenta en general poco tiempo después de las grandes lluvias.

Conocidas las características de los manantiales y de las resurgencias, el ingeniero que haga un estudio geológico del terreno podrá, con muchas probabilidades de acierto, distinguir *a priori* el valor higiénico de las emergencias.

No es posible extenderme en el examen y crítica de los procedimientos para averiguar la situación de las capas de agua subterránea, que se ha intentado poner en práctica y cuya eficacia es tan discutible. Citaré solamente algunos, entre ellos los medios y aparatos para reconocer la humedad del suelo, tales como las «cuatro pruebas» de Vitrubio, el examen de los insectos de Cassiodoro, la balanza higrométrica de Kircher, el empleo de mezclas químicas, el examen de la vegetación y de la fusión de la nieve; los procedimientos de adivinación o videncia sin aparatos,

que se fundan en la pretendida ciencia de los zahoríes que, según el marqués de Saint Aubin, «velan lo que había bajo tierra hasta veinte picas de profundidad», zahoríes cuyo nombre indica su origen árabe que, desgraciadamente, existen aún hoy en algunos pueblos rurales, y que entiendo son síntoma de su atraso y escasa cultura; los procedimientos de adivinación o videncia con aparatos tales, como la tan discutida varita de avellano, con los movimientes inconscientes de quien la aplica; los aparatos automáticos, tales como la varita perfeccionada, cuyos movimientos se pretende aplicar por lo que se ha dado en llamar desnivel eléctrico y por la radioactividad y otra porción de aparatos fundados en principios físicos, cuya enumeración considero inútil.

Opino que el único procedimiento lógico, que por esta razón será el único que satisfará a los hombres de ciencia, y cuyos buenos resultados han sido comprobados, es el que se funda en el exacto conocimiento geológico de la región que se trata de explorar, valiéndose del estudio de los afloramientos de los estratos, bien en la superficie del terreno, bien en las depresiones de origen tectónico o debidas a erosiones, o también en las paredes de obras debidas a la mano del hombre, tales como minas, túneles y pozos; estos últimos darán indicaciones preciosas si se multiplican, situándolos en un plano con indicación de la altura del agua en ellos y la cota de sus fondos; las pequeñas emergencias o humedades notadas, relacionándolas unas con otras, podrán dar una idea de la topografía de las capas impermeables, y de aquí deducir la situación y alguna de las capas freáticas y aun de las artesianas. La acertada aplicación de un buen tren de sondeo proporcionará datos precisos al ingeniero, que, asesorándose de los geólogos, podrá pronosticar con muchas probabilidades de acierto la existencia y situación de los caudales subterráneos. Un buen plano con curvas de nivel lo más próximas posible será el que recibirá todas las indicaciones, y por la forma general del terreno, de la que dará una idea exacta, se podrá deducir la naturaleza de los accidentes, y, por consiguiente, cuáles son de origen tectónico, que son los que más desorientan en el difícil estudio del conocimiento de los caudales subterráneos de agua.

Para investigar el origen y camino recorrido de las aguas subterráneas hasta llegar a sus emergencias, problema este de gran importancia para pronosticar la probable contaminación permanente o accidental, se han aplicados dos procedimientos: uno de ellos se funda en mezclar con el agua en su punto de origen o de absorción materias que, mezcladas con el líquido, queden en él en suspensión; en el segundo, las materias empleadas se disuelven en el líquido. Tanto las materias solubles como las insolubles deberán reunir las condiciones de no ser alterables por el agua ni por los terrenos con los que han de estar en contacto, y de ser fácilmente reconocidas y dosificadas, aun en pequeñas proporciones, en los puntos de emergencias.

Entre los procedimientos en que se emplean los cuerpos en suspensión citaré el del almidón, la levadura de cerveza o también ciertos microorganismos, siempre que se tenga la certeza de que no preexisten en el subsuelo, tales como el *Bacillus violaceus*, *Bacillus aceti* y *micrococcus prodigiosus*, fáciles de reconocer por la fermentación acética que provocan.

En los procedimientos de cuerpos disueltos se emplean los siguientes cuerpos: la sal ordinaria y el cloruro de cal (métodos Dienert, Thiem y Slichter).

El método más en uso y de más satisfactorios resultados es el que emplea la fluoresceína como sustancia colorante, para cuyo estudio es recomendable el artículo de Trillat, publicado en los *Annales del Institut Pasteur*, 1889.

Corrección del agua de abastecimiento.

En una población debidamente saneada, el agua de alimentación debe distribuirse a las viviendas y fuentes públicas con todas las condiciones de potabilidad; por esta razón, si aquella de que se dispone no las reúne, deberán corregirse, a ser posible, todos los defectos de carácter físico, químico micrográfico y microbiológico. Se ha indicado ya la mayor o menor importancia que debe darse a estas condiciones, desde el punto de vista higiénico, y ha quedado sentado que las condiciones físicas, químicas y micrográficas, salvo contados casos en que los defectos vienen excesivamente acentuados, tienen una importancia secundaria, considerando imprescindible que reúna las microbiológicas, o sea que no contenga los gérmenes específicos de las enfermedades que se desarrollan y propagan por medio del agua. En una población en la que sus habitantes, de un modo individual, tengan que corregir las condiciones de potabilidad de sus aguas, puede asegurarse que el saneamiento es defectuoso y que no se evitarán las endemias y epidemias, pues nunca, bien por ignorancia de muchos, bien por falta de recursos materiales de algunos, no todos los habitantes de una urbe corregirán debidamente el agua defectuosa de abastecimiento. Así, pues, el agua aducida a una población deberá almacenarse en los depósitos de distribución con todas las condiciones de potabilidad, es decir, depurada. Si esta depuración se consigue naturalmente al captarla, el abastecimiento será perfecto y el agua resultará a menor precio que en aquellas urbes en que la depuración deba hacerse artificialmente, en las cuales los gastos de instalación y explotación de las estaciones depuradoras traerán consigo aumentos no despreciables en el precio del metro cúbico, cuyo aumento retraerá a los habitantes y que, por consiguiente, no dispondrán de líquido abundante para atender a todas las necesidades de orden higiénico. De lo que acabo de exponer se deduce que antes de elegir el agua de abastecimiento, si es que la elección es posible, por poderse disponer de la de distintas procedencias, se deberá hacer un estudio económico, en el que se calculará el coste de las instalaciones para corregir los defectos de unas y otras y los gastos consiguientes a su explotación. Puede darse el caso de que la aducción de agua con todas las condiciones apetecibles exija gastos mucho mayores que la de otro origen con defectos químicos o microbiológicos inadmisibles, pero que la corrección de ellos aumente el precio de la unidad de volumen en cantidad mayor que la que representa el mayor gasto de la aducción de agua perfectamente potable. En algunos casos, la mejor solución consistirá en prescindir, no corrigiéndolos, de los defectos de importancia secundaria, como, por ejemplo, frescura, alcalinidad acentuada pero no exagerada, etc., para lograr precios asequibles a todos los consumidores. Con las consideraciones expuestas, entiendo que basta para indicar en líneas generales el estudio económico que debe preceder a la elección del agua entre los distintos orígenes de que se puede disponer.

No considerando de interés primordial para este estudio ocuparme de los distintos procedimientos de corrección física y química del agua, por entender que son de orden secundario las deficiencias por estos conceptos desde el punto de vista higiénico, sin que modernamente se haya puesto en práctica ninguno que merezca atención preferente sobre los antiguos, me limitaré a enumerar solamente, y a discutir lo más sucintamente posible, los medios de depuración bacteriológica, o sea de esterilización del agua de abastecimiento de las grandes aglomeraciones, sin ocuparme de los de pequeña producción ni de los llamados caseros.

Desde el punto de vista microbiológico, el agua ideal será la aséptica, es decir, que no contenga germen alguno; y en la prácti-

ca será aceptable la que carezca de los gérmenes y toxinas nocivos.

Por el sucinto estudio hecho hasta aquí, relativo a la calidad del agua, y de lo que de la experiencia se deduce, se puede afirmar que serán muy contados los casos en que para el abastecimiento de una gran urbe se disponga de agua bacteriológicamente aceptable o aséptica, cualquiera que sea su procedencia y sistema de captación, pues aun suponiendo que fuese posible captar la suficiente, toda ella de manantiales o emergencias procedentes de las capas freáticas o de las artesianas, en la mayor parte de los casos estarán sujetas a contaminaciones permanentes o accidentales, debidas a deficiencias en espesor o en la calidad del terreno filtrante, ya a la mezcla de las aguas naturalmente filtradas, con las procedentes de los terrenos fisurados; a causa de las roturas o dislocaciones de los estratos impermeables u otro accidente geológico, bien por deterioros de los elementos que entuban los pozos artesianos, cuyas aguas profundas, en el caso de ser puras, pueden contaminarse en su viaje ascendente con filtraciones de origen sospechoso. Por estas razones, en general, al abastecer una gran urbe será indispensable esterilizar toda el agua necesaria para su abastecimiento, si sólo se dispone de una red de distribución única, y la necesaria para la alimentación, si se construye la canalización doble.

Hasta hoy los sistemas de esterilización del agua se clasifican en físicos, tales como los que emplean la filtración y el calor; los químicos, de gran variedad, que adicionan al agua productos químicos que tienen el poder de aniquilar los gérmenes y las materias orgánicas; y, finalmente, los que podemos llamar físico químicos, en los que, por medio de agentes físicos, se producen elementos que obran químicamente sobre las materias que se quieren alimentar o transformar.

PROCEDIMIENTOS FÍSICOS.

ESTERILIZACIÓN POR EL CALOR.—Al someter el agua a la ebullición quedan aniquiladas la mayor parte de las bacterias que contiene; este procedimiento es el que podríamos llamar popular; el clásico, y es el empleado individualmente cuando una epidemia hídrica invade una urbe, es de fácil aplicación, aun para las personas que de menos medios disponen, y su eficacia es aceptable; sin embargo, se debe advertir que con sólo la temperatura de 100 grados, sostenida breves momentos, la esterilización puede no ser completa; si con la persistencia en la ebullición o en vasija cerrada se alcanzan temperaturas mínimas de 120 grados sostenidas de diez a doce minutos, la esterilización será completa.

Distintos aparatos se han construido para lograr el máximo rendimiento esterilizante del combustible, unos para el uso de pequeñas colectividades, otros transportables, para las unidades del ejército en campaña, los aparatos caseros, etc.; pero no se han construido para esterilizar grandes cantidades de agua, en primer lugar, porque el precio de las máquinas resultaría muy elevado; en segundo término, porque este sistema trae consigo la instalación de refrigeradores, y, por último, porque resultaría muy cara la esterilización, pues aun suponiendo que el precio de la tonelada de carbón de 600 calorías sólo fuese de 30 pesetas, para elevar un metro cúbico de agua desde 20 grados—que supondríamos que es su temperatura normal—a 120 grados, se necesitarán ordinariamente, aun con aparatos perfeccionados, unos 30 kilogramos de combustible, o sean unos 9 centimos de peseta, a cuyo precio hay que agregar la amortización y los gastos de explotación. Por otro concepto, no se considera aceptable la ebullición como procedimiento esterilizante, y es porque modifica la composición química del agua, restándole sales y expulsando el aire disuelto, por lo cual se hace desagradable o indigesta y facilita el desarrollo en ella de gérmenes anaerobios.

(Continuará)