

EMPLEO DE ISOTOPOS EN HIDROLOGIA

Se dice con frecuencia que el agua constituye el recurso más importante de las sociedades humanas. Claro está que no puede establecerse un orden de prioridad en las necesidades básicas; la luz solar, por ejemplo, también es importante. Sin embargo, los recursos hidráulicos están distribuidos de manera un tanto irregular sobre la superficie del globo, y es evidente que en los sitios en que se carece de agua resulta por lo general imposible el establecimiento de seres humanos. Por otra parte, en aquellos sitios en que se dispone de agua, pero en escasa cantidad, las condiciones de vida pueden mejorarse si se encuentra la manera de obtener agua en mayores cantidades.

Estos hechos han sido conocidos desde tiempo inmemorial y en la antigüedad se consideraba que la habilidad para aprovechar el agua disponible constituía la clave de todo progreso. La mayor parte del agua utilizada antiguamente por el hombre era extraída de los ríos, aunque también se utilizaban las aguas subterráneas de fácil extracción.

En nuestros tiempos las aguas subterráneas se utilizan cada vez más, lo que ha producido grandes beneficios, pero ha creado al mismo tiempo ciertos problemas. Como la capacidad de los depósitos de agua subterránea no es ilimitada, al preparar los planes para su utilización es preciso determinar la medida en que dichos depósitos pueden explotarse. Pero hasta ahora esa determinación no ha sido fácil de efectuar. Pese a los rápidos progresos de la hidrología y la hidráulica, hasta hace poco se carecía

Midiendo el aforo de una corriente de agua en Grecia (proyecto del Fondo Especial de las Naciones Unidas sobre el aprovechamiento de aguas subterráneas) (Foto: C.E.A. de Grecia)



de medios adecuados para proceder a una exploración completa de los depósitos de agua subterránea. Los métodos hidrológicos tradicionales no permiten, en general, determinar la velocidad de recarga de las reservas del subsuelo y en muchos casos resulta difícil o imposible calcular la cantidad de agua depositada en el subsuelo de una región determinada. Los ingenieros hidráulicos han tropezado constantemente con dos problemas: el primero consiste en determinar la cantidad de agua contenida en el subsuelo de una región; el segundo consiste en calcular la velocidad de reposición de esa agua. El empleo de radioisótopos quizás permita resolver ambos problemas.

En los estudios hidrológicos los radioisótopos pueden emplearse principalmente de dos maneras: como indicadores para identificar el agua o como medio para la determinación de su edad. En los párrafos siguientes se examinan los métodos empleados en cada caso.

Empleo de radioisótopos como indicadores

Los radioisótopos se agregan a las aguas subterráneas como indicadores para determinar características tales como el caudal o la dirección de la corriente. Las técnicas para su empleo se están perfeccionando de manera satisfactoria. El principal problema ha consistido en encontrar un indicador de período adecuado -es decir: ni demasiado corto ni demasiado largo-, fácil de identificar y que no sea absorbido por los minerales presentes en el suelo. Se han ensayado varios indicadores, pero hay que proceder aún a nuevas investigaciones. Aunque el tritio parece especialmente adecuado, todavía quedan por resolver dos dificultades. Una consiste en que la radiación emitida por este isótopo es tan débil que los correspondientes análisis de muestras de agua no pueden hacerse sobre el terreno. La otra dificultad consiste en que el período de semidesintegración del tritio, que es de 12,5 años, resulta demasiado largo para los experimentos a corto plazo. Otros isótopos que pueden ser empleados como indicadores en el agua, siempre que se tomen ciertas precauciones, son el yodo-131, el yodo-125 y el complejo cianurado de cobalto-60.

Los experimentos con indicadores permiten obtener datos sobre la cantidad de agua contenida en el subsuelo de una determinada región. El Organismo está colaborando en un estudio con indicadores de las aguas subterráneas de una región kárstica* de Grecia -la llanura de Tripolis en el Peloponeso. Las aguas de derrame de esta llanura forman pequeños

* Las regiones kársticas son regiones calizas de superficie ahondada por depresiones y atravesadas por cortes abruptos, rocas protuberantes irregulares, cavernas y corrientes subterráneas.

ríos que desaparecen en las *katavothres*, o sea, en las cavernas profundas de las montañas. Hasta ahora no se sabe hacia donde se dirigen esas aguas. La existencia de numerosas fuentes en las proximidades del mar, e incluso en el mar mismo, indica la presencia de un complejo sistema de desagüe que consiste posiblemente en ríos subterráneos. Un experimento realizado con indicadores radiactivos permitió descubrir la conexión existente entre una de las cavernas y una de las fuentes. Los datos obtenidos permitieron también calcular la cantidad de agua depositada entre esos dos puntos. En febrero de este año se marcó con indicadores el agua de una segunda caverna.

El Organismo patrocina otros experimentos en regiones kársticas a fin de obtener más información sobre este tipo de almacenamiento de aguas subterráneas, muy difícil de estudiar mediante los métodos tradicionales.

En todos estos experimentos el agua tritiada utilizada como indicador se agrega durante breves períodos al agua que penetra en el subsuelo. En principio, se pueden hacer experimentos similares en aquellas regiones en que los depósitos subterráneos se alimentan de precipitaciones pluviales que penetran lentamente a través del suelo. Sin embargo, en esas regiones se presentan algunas dificultades debido a la gran extensión de la superficie que dichas precipitaciones atraviesan.

Otro método para calcular la cantidad de agua contenida en los depósitos subterráneos de una región determinada consiste en aprovechar el tritio liberado en la atmósfera por los ensayos de armas atómicas. Para ello es suficiente disponer de registros de las cantidades de tritio contenidas en las precipitaciones y transportadas por los ríos en diferentes épocas. El tritio contenido en las precipitaciones puede ser considerado como un impulso de determinada forma en relación con el tiempo. Cuando el impulso pasa a través de la reserva de agua subterránea, la curva correspondiente se deforma y esa deformación permite calcular la cantidad de agua de diferentes edades contenida en el depósito.

Teniendo en cuenta las posibilidades que este tritio de producción artificial ofrece en meteorología y en hidrología, el Organismo ha iniciado, por recomendación de su Comité Consultivo Científico y en cooperación con la Organización Meteorológica Mundial, una determinación de los isótopos contenidos en las aguas pluviales, incluido el tritio. Esas aguas se recogen mensualmente en unas 90 estaciones dispersas por todo el mundo y las muestras se analizan en ciertos laboratorios para determinar su contenido en tritio. Con la información obtenida será posible determinar la amplitud del "impulso de tritio" en cualquier región y en cualquier momento. También se ha pedido a la OMM que coopere en un estudio similar de las aguas fluviales. Comparando los resultados correspondientes a las aguas de las lluvias y de los ríos, se podrá calcular el volumen de las reservas de agua subterránea de las principales cuencas fluviales del mundo.

En todas aquellas regiones en que se desee obtener información sobre el agua depositada en el subsuelo se podrían hacer estudios similares utilizando muestras de las aguas fluviales. En la actualidad pocos laboratorios disponen del equipo necesario para analizar muestras de agua con objeto de determinar su contenido en tritio, ya que el coste de este equipo es más bien elevado. Con el tiempo se podrá mejorar la situación a este respecto; por ahora, lo importante es preparar un programa de extracción de muestras que sea adecuado para estos fines, lo que puede hacerse sin incurrir en grandes gastos.

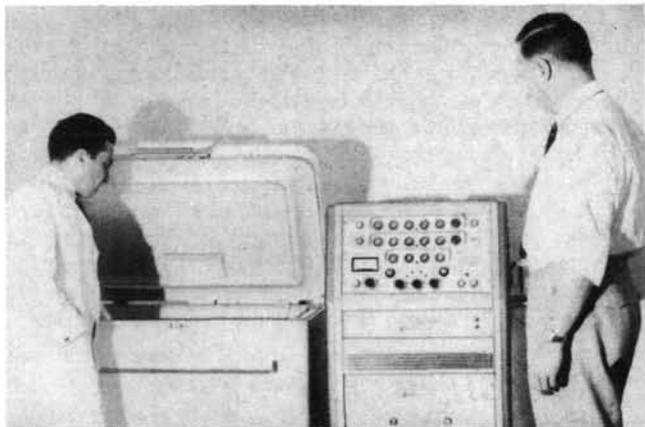
Empleo de radioisótopos para la determinación de la edad del agua

Como es sabido, desde hace muchos años se emplea el carbono-14 para determinar la edad de los monumentos y objetos arqueológicos. Este isótopo se produce en la atmósfera como consecuencia de una reacción de neutrones provenientes de la radiación cósmica con el nitrógeno atmosférico. Al parecer, se produce a velocidad constante y se incorpora a los vegetales de una manera similar a la del carbono corriente. Una vez incorporado a la materia orgánica, se desintegra lentamente, de manera que su concentración en un momento dado permite calcular el tiempo transcurrido desde que se incorporó a la planta.

Para poder utilizar los depósitos de agua subterránea es de suma importancia determinar su edad, ya que ello permite calcular la velocidad de reposición probable. Con este fin se ha sugerido el empleo del tritio. En efecto, el tritio se produce en la atmósfera por un proceso análogo al del carbono-14 y, después de haber penetrado en el suelo como parte de las moléculas de agua, se desintegra de modo que su concentración disminuye como la del carbono-14. Por lo tanto, en principio tiene que ser posible emplearlo para determinar la edad de muestras de agua del subsuelo, siguiendo un procedimiento similar al que se utiliza para la determinación de la edad de los objetos arqueológicos mediante el carbono-14.

Sin embargo, se presentan algunas complicaciones. Una de ellas se debe a que la proporción de tritio en la naturaleza ha sido fuertemente modificada como consecuencia de la liberación de tritio producido artificialmente en grandes cantidades a partir de 1954. Por ello, el método de la desintegración radiactiva no puede emplearse para determinar la edad de muestras de aguas subterráneas depositadas durante los ocho últimos años.

También pueden surgir complicaciones cuando en los depósitos se ha producido una mezcla de aguas de diferentes edades. Afortunadamente, las aguas subterráneas no suelen mezclarse en proporciones considerables, a juzgar por los resultados de ciertas investigaciones hechas recientemente en los Estados Unidos que han permitido comprobar en un depósito de aguas subterráneas una estratificación muy marcada del tritio de diferentes edades. Así, empleando un procedimiento de muestreo adecuado, es posible determinar la edad del agua en diferentes lugares de



Equipo para analizar muestras de agua (Laboratorio del OIEA)

un depósito subterráneo, por lo menos para períodos comprendidos entre los 10 y los 50 años. Esta información permitiría determinar el promedio de edad del depósito. Para períodos muy superiores a los 50 años, se comprobaría prácticamente una ausencia total de tritio. Se han podido registrar algunos de estos casos.

Como ejemplo de la utilidad del tritio para determinar la edad de las aguas del subsuelo, cabe mencionar el caso del valle del río Sabi en Rhodesia del Sur. Las perforaciones permitieron comprobar que existía abundancia de agua en el suelo. También se comprobó que la pendiente de las capas descendía desde el río hacia una cadena de montañas, sin salida aparente. Este hecho era difícil de explicar, pues el valle tiene un suelo formado por material más bien suelto y para poder evacuar un caudal de cierta importancia sería necesaria la existencia de un río subterráneo que atravesara la cadena montañosa. Varias muestras del agua subterránea tomada en diferentes perforaciones y una muestra de agua del río fueron analizadas para determinar la presencia de tritio, con la idea de que el agua subterránea provenía del río. Pero los análisis permitieron comprobar que las muestras provenientes del subsuelo no contenían tritio, a pesar de que una de ellas había sido tomada de una perforación situada solamente a un kilómetro del río, mientras que el agua de este último contenía tritio en la concentración prevista. Teniendo en cuenta el período de semidesintegración del tritio y el margen de error de los análisis efectuados, se llegó a la conclusión de que el agua del subsuelo había salido del río por lo menos 50 años antes. Lógicamente, corresponde deducir que en esta región el agua del subsuelo se mueve con suma lentitud a pesar de la fuerte pendiente de las capas que la contienen, debido probablemente a la presencia de estratos de materiales arcillosos en la arena. Esta información es muy importante por sus consecuencias prácticas en lo que respecta a la utilización del agua para el riego. Si se utiliza con este objeto el agua del río, se corre el riesgo de que las sales que contiene se acumulen en el suelo, ya que el agua subterránea

se mueve demasiado lentamente para poder arrastrarlas. (Aparentemente ésta es la explicación del fenómeno de acumulación de sales que se ha producido en el Pakistán occidental durante los 50 últimos años.) Por otra parte, si se emplea el agua del subsuelo para riego, es posible que el depósito se agote rápidamente, puesto que su reposición con agua del río se produce, al parecer, con grandes dificultades. Puede llegarse a la conclusión de que en un caso como éste es necesario proceder a una investigación completa del movimiento de las aguas del subsuelo en toda la región, antes de poder dedicarla a la explotación agrícola.

Para la determinación de la edad del agua se han sugerido últimamente otros métodos distintos del análisis del tritio. Uno de ellos consiste en el empleo de carbono-14 para las aguas del subsuelo que podríamos llamar viejas, pues dichas aguas contienen siempre bicarbonato en solución. Es posible, no obstante, que surjan ciertas complicaciones si se produce un intercambio entre el carbono-14 proveniente de la atmósfera y el carbono contenido en los suelos calizos. Ello daría una edad aparente muy superior a la verdadera edad del agua, pues la caliza tiene generalmente una edad de millones de años y está ya completamente libre de carbono-14. Sin embargo esta dificultad puede ser superada si se conoce el índice de intercambio. También se ha sugerido que para medir la edad de las aguas se utilice la radiactividad natural del suelo debida a los isótopos de la cadena del uranio, ya que la relación entre los elementos consecutivos de esta cadena dependerá de la velocidad de reposición del agua del subsuelo.

Grecia: Recogiendo muestras de agua para analizar el contenido de tritio (Proyecto del Fondo Especial de las Naciones Unidas para el aprovechamiento de aguas subterráneas) (Foto: C.E.A. de Grecia)



Otras aplicaciones de los isótopos

La grava y la arena transportadas por los ríos pueden dificultar la utilización del agua, pues tienden a llenar las presas y los canales de riego. Es prácticamente imposible medir por los procedimientos tradicionales la cantidad de estos sedimentos transportada en función del tiempo, pues una gran proporción es arrastrada a lo largo del fondo de los cauces. Recientemente se ha estudiado la posibilidad de usar arena marcada con radioisótopos, método que quizás permita resolver el problema. El Organismo está fomentando algunas investigaciones con este fin. También participa en un estudio sobre el material aca-

rreado por un tributario del río Mekong, en el sudeste de Asia.

Todos los métodos descritos se basan en el empleo de isótopos radiactivos en hidrología. También podría ser útil el empleo de isótopos estables en las investigaciones hidrológicas. Por ejemplo, el oxígeno-18 y el deuterio podrían ser útiles para la identificación de las aguas, ya que la proporción de los isótopos contenidos en el agua de lluvia varía según la altitud en que dicha agua se pone en contacto con el suelo. Por ese motivo, en el estudio sobre las aguas pluviales que se está realizando en el mundo entero y que ha sido ya mencionado, se procede al análisis del agua para determinar su contenido en esos dos isótopos.

APLICACIONES MEDICAS DE LOS RADIOISOTOPOS EN EL IRAK

Un experto en las aplicaciones médicas de los radioisótopos que ha permanecido cerca de un año en el Irak, desempeñando funciones asignadas por el Organismo dentro de su programa de asistencia técnica, ha presentado un informe en el que se da cuenta de la contribución del OIEA a los progresos de la medicina nuclear en dicho país. Se trata del Sr. Ralph Adams, del Departamento de Radiología de la Facultad de Medicina, Universidad de Loma Linda, Los Angeles, California (Estados Unidos).

Su misión, que empezó en noviembre de 1960, tenía especialmente por objeto: a) prestar asistencia en las aplicaciones de los radioisótopos con fines diagnósticos, terapéuticos y de investigación, y b) dar formación y asesoramiento al personal del Hospital de la República (Bagdad). Además, el Sr. Adams ejecutó otros trabajos relacionados con la protección radiológica.

El Departamento de Radioisótopos del Hospital de la República entró en servicio en 1957 bajo la dirección del Dr. Ali Al-Hindawi. Cuando el Sr. Adams llegó a Bagdad, se procedía ya a diversas aplicaciones de los radioisótopos. Entre ellas cabe mencionar el estudio de la anemia mediante cromó radioactivo, diversos ensayos de la función tiroidea con ayuda de radioyodo y algunas aplicaciones terapéuticas.

Diagnóstico

Para estudiar la anemia hemolítica (enfermedad que puede ser hereditaria o adquirida) se inyectan al paciente glóbulos rojos marcados con cromo-51 y

luego se mide la vida media de los glóbulos de muestras de sangre. Se efectúa, además, un recuento externo sobre el hígado, el bazo y el corazón a fin de localizar los lugares de destrucción de los glóbulos rojos. El Organismo ha apoyado estos trabajos adjudicando un contrato de investigación al Hospital de la República de Bagdad.

Antes de la llegada del Sr. Adams, se realizaban ya algunos ensayos de tipo corriente para estudiar la función tiroidea. Una de las principales tareas del experto consistió en perfeccionar las técnicas empleadas. Introdujo, además, un método para preparar dosimetrizadoras de radioyodo en cápsulas con el que se evita la necesidad de que un técnico permanezca diariamente largas horas en un laboratorio de elevada actividad midiendo dosis trazadoras con una pipeta.

Poco antes de terminar su misión, el Sr. Adams pudo introducir la prueba de "Hamolsky", en la que la captación por los glóbulos rojos de triyodotironina (hormona tiroidea) marcada con yodo radiactivo sirve de índice de la función tiroidea, pues la captación aumenta en los individuos hipertiroides y disminuye en los hipotiroides. Los medicamentos yodados no influyen en los resultados de la prueba; tampoco es necesario administrar al paciente sustancias radiactivas.

Los estudios de la tiroides se vieron facilitados por el empleo de un aparato de gammagrafía (que puede definirse como un aparato que sirve para "ver" el interior del cuerpo) suministrado al Irak por el OIEA en virtud del programa de asistencia técnica.