

Aquellos de ustedes que estén familiarizados con los problemas de administración comprenderán que en una organización como el OIEA se plantean problemas especiales. Las delegaciones a veces se enteran de ciertos hechos antes de que los haya examinado el personal directivo superior, por lo que pueden producirse frecuentes malentendidos. Por consiguiente se exige al personal de la Secretaría la máxima lealtad para con la organización.

Pero a pesar de todo, les aseguro que la condición de funcionario internacional trae consigo compensaciones apreciables. Uno percibe directamente lo real que es la creciente interdependencia de los estados nacionales y se da cuenta de que las organizaciones internacionales no son sino la expresión de esa realidad. Y por imperfectamente que la expresen demuestran a diario la necesidad de una administración internacional como instrumento de paz.

Además, el estar al frente de una organización internacional, constituida por países de cultura sumamente diversa que ponen a disposición de la misma personal que refleja esa diversidad, hace sentir a uno que ese personal puede, a pesar de ello, constituir un todo regido por los mismos principios y cumplir su misión de funcionarios internacionales.

Por último, proporciona profunda satisfacción conocer a tantas personalidades de diferentes partes del mundo y tratar de crear un clima de mutua comprensión en la resolución de problemas comunes. Pero la más preciada compensación que nos reporta nuestro trabajo en el Organismo es el sentimiento de contribuir a derribar barreras y a fomentar la colaboración y comprensión en el campo de la ciencia y de la tecnología. Ello a su vez preparará el terreno para que los hombres de Estado puedan asentar la paz internacional sobre bases sólidas.

---

## EMPLEO DE LOS RADIOISOTOPOS EN HIDROLOGIA

El agua es un elemento que escasea en muchas regiones; como su consumo aumenta rápidamente debido al incremento de la población mundial y a la expansión de las explotaciones agrícolas e industriales, muchos países están tratando de desarrollar sus recursos hidráulicos. En realidad, el éxito de muchos planes de desarrollo económico depende en gran parte de la utilización racional y eficaz de esos recursos. La hidrología se ha convertido, pues, en una ciencia de inmensa importancia práctica.

Sin embargo, los problemas que la escasez de agua plantea no constituyen la totalidad de los problemas hidrológicos. El "comportamiento" del agua ejerce una influencia importante sobre distintas actividades agrícolas e industriales, como la construcción de embalses o de centrales hidroeléctricas. Los estudios hidrológicos tienen, por consiguiente, aspectos y finalidades múltiples y las técnicas correspondientes son necesariamente muy diversas.

En los últimos años, el empleo de los radioisótopos ha permitido ampliar esas técnicas y, en ciertos casos, ha aumentado su eficacia y precisión. También ha permitido desarrollar algunos nuevos métodos de estudio de los problemas hidrológicos. Para ilustrar la función que desempeñan bastará citar unos pocos ejemplos.

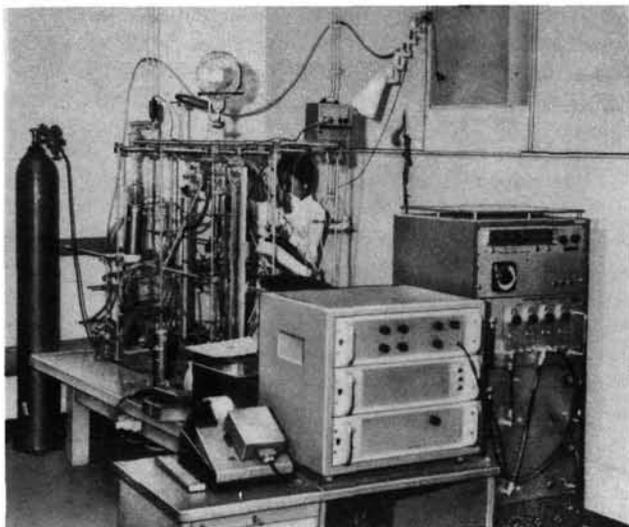
Los radioisótopos pueden emplearse como indicadores para medir la velocidad de las corrientes de agua en canales, conductos cerrados y ríos. Duran-

te mucho tiempo se utilizaron con ese fin diversos productos químicos, pero los radioisótopos, aunque se emplean conforme al mismo principio, son más fácilmente detectables y permiten, por tanto, efectuar mediciones más fidedignas y exactas. También pueden emplearse como indicadores para el estudio de la sedimentación de los ríos, estuarios y puertos, y así se vienen ya utilizando en diversos países desde hace varios años. Para el estudio de los recursos hidráulicos subterráneos, de tan gran importancia en las zonas áridas y semiáridas, el empleo de los radioisótopos abre nuevas perspectivas porque permite no sólo seguir el movimiento de las corrientes, sino determinar la importancia de los depósitos.

Los radioisótopos se emplean en hidrología con muchos otros fines y es posible que el número de sus aplicaciones aumente aún. Dichas aplicaciones, tanto las que se practican normalmente como las que sólo aparecen como una posibilidad, constituyen una esfera científica en la que el Organismo Internacional de Energía Atómica puede desempeñar un papel de gran utilidad.

### Medición del tritio

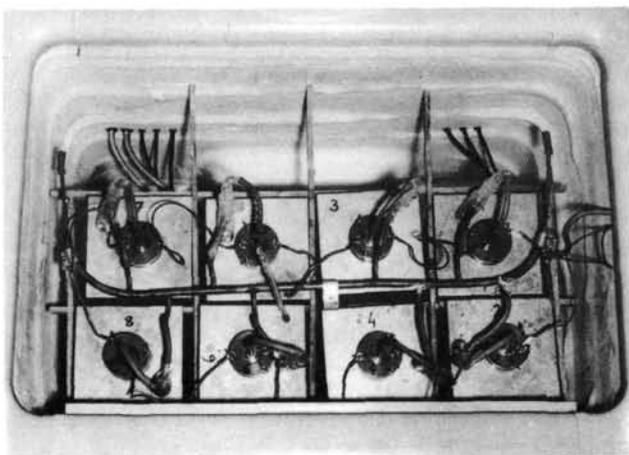
Uno de los principales proyectos del Organismo consiste en el estudio de la concentración de los isótopos del hidrógeno y del oxígeno en el agua. La finalidad de ese estudio es determinar el esquema de la circulación del vapor de agua en escala mundial y



Recuento de tritio gaseoso en el laboratorio de la Sede del OIEA

medir la concentración del tritio del agua de lluvia en diferentes partes del mundo, operación indispensable para poder aplicar el tritio del medio ambiente a la solución de problemas hidrológicos locales. El tritio se produce en la naturaleza como resultado de reacciones originadas en la atmósfera por los rayos cósmicos y es arrastrado por la precipitación del vapor de agua, es decir, por la lluvia. Como es posible calcular la cantidad de tritio normalmente presente en el agua a consecuencia de ese proceso, la ausencia de tritio o una concentración inferior a la normal en una determinada masa de agua indicará la desintegración radiactiva del tritio inicial sin que se hayan producido nuevas adiciones de tritio arrastrado por la lluvia. En otras palabras, indicará que el agua de que se trate es "vieja". Puesto que conocemos la rapidez con que el tritio se desintegra (su período es de doce años y medio), la medición del tri-

Celdas electrolíticas para concentrar el tritio en el laboratorio del Organismo



tio puede revelar la edad de una determinada muestra de agua.

Dejando aparte ese proceso natural, durante los últimos años se ha introducido en la atmósfera una cantidad importante de tritio como consecuencia de las explosiones nucleares. En los ensayos de bombas de hidrógeno se descarga tritio en la atmósfera; ese tritio es arrastrado luego por las precipitaciones hasta las masas de agua de la superficie terrestre. La presencia o la ausencia de ese tritio puede también servir para determinar la edad de las aguas, ya que permite calcular la de una muestra determinada.

Se espera, pues, que la medición del tritio proporcione una información valiosa sobre la edad de las diferentes masas de agua y sobre la rapidez con que esas masas se renuevan gracias a las precipitaciones. Esta información será de considerable utilidad para la planificación del desarrollo de los recursos hidráulicos destinados a la industria o a los riegos.

El estudio del Organismo sobre la concentración del tritio, que se lleva a cabo en cooperación con la Organización Meteorológica Mundial, está ya bastante avanzado. Mensualmente se recogen muestras de agua de lluvia en unas cien estaciones distribuidas por todo el mundo y esas muestras se analizan en el laboratorio del Organismo y en algunos otros laboratorios especializados para determinar su contenido de tritio. El laboratorio del Organismo ha proporcionado a los demás laboratorios patrones de tritio para facilitar el análisis correcto de las muestras.

En muchos experimentos el tritio se añade artificialmente al agua para que sirva de indicador radiactivo. El agua tritiada, o sea el agua marcada con tritio, constituye un indicador sumamente útil en toda una serie de investigaciones hidrológicas. En lugares donde el agua desaparece en el subsuelo puede resultar necesario averiguar si esa agua alimenta un manantial o un grupo de manantiales situados a cierta distancia. El tritio, empleado como indicador, permite resolver esos problemas y determinar, por ejemplo, el caudal, la velocidad y la dirección de una corriente subterránea o el volumen del agua acumulada en el subsuelo. En ejecución de un proyecto del Fondo Especial de las Naciones Unidas, el Organismo ha llevado a cabo un experimento en Grecia en el que se ha utilizado tritio como indicador. Las muestras de agua reunidas han sido analizadas en la Sede del Organismo y se han obtenido ya resultados importantes.

El Organismo patrocina o apoya proyectos similares mediante su programa de contratos de investigación. En ejecución de uno de esos contratos se han llevado a cabo en la región de Trieste experimentos con agua marcada con tritio. Otros contratos de investigación relacionados con el empleo de los radioisótopos en hidrología han sido adjudicados a la-

boratorios e institutos científicos de diferentes países. El hecho de que los créditos consignados para los contratos de investigación del Organismo en esa materia hayan pasado, entre 1962 y el año en curso, de 30 000 a 40 000 dólares, aproximadamente, demuestra el creciente interés que existe por ese tipo de investigaciones.

El Organismo celebró el año pasado una conferencia internacional sobre las aplicaciones del tritio en las ciencias físicas y biológicas.

### Reuniones de grupos de expertos

Para preparar el programa relativo a las aplicaciones de los radioisótopos en hidrología el Organismo reunió dos grupos de expertos: el primero en 1961 y el segundo el pasado año. En esas reuniones, celebradas en la Sede del Organismo, se examinaron los principales aspectos de la cuestión, las técnicas y los métodos utilizados y la posibilidad de perfeccionarlos y aplicarlos a la solución de nuevos problemas. Una vez terminada la primera reunión, los expertos consideraron conveniente resumir en un informe, para su propio uso, la información técnica acopiada y las conclusiones a que habían llegado. Pero más adelante se estimó que el informe -en el que la experiencia de especialistas en radioisótopos poco familiarizados con los problemas de la hidrología venía a sumarse a la de hidrólogos con un conocimiento puramente marginal de las aplicaciones de los radioisótopos- tenía un interés mucho más general. En consecuencia, ha sido recientemente publicado en la Colección de Informes Técnicos del Organismo.

Este primer informe trata principalmente de las siguientes cuestiones: i) indicadores radiactivos para la marcación del agua; ii) radioisótopos estables utilizados como indicadores; iii) determinación de la edad de las aguas subterráneas mediante radioisótopos; iv) medición de aguas subterráneas por el método del número total de impulsos; v) métodos de marcación de las aguas subterráneas; vi) mediciones de caudal; vii) empleo de los radioisótopos para resolver problemas hidráulicos; viii) algunos problemas hidrológicos que pueden resolverse con métodos radioisotópicos. Bajo cada uno de esos epígrafes se enuncian los problemas y se da un resumen de la información reunida y de las opiniones de los expertos. Luego se formulan unas "conclusiones y recomendaciones" en las que se expone el estado actual de cada cuestión y se sugieren nuevas investigaciones. El último capítulo del informe trata de algunos problemas hidrológicos complejos para cuya solución podrían utilizarse eficazmente las técnicas radioisotópicas.

La labor realizada por el primer grupo de expertos consistió en gran parte en un estudio de carácter general de los problemas pendientes y de los métodos que se emplean o pueden emplearse para resolverlos; examinó las técnicas isotópicas disponibles

y discutió la forma en que podrían adaptarse a los problemas hidráulicos. El segundo grupo de expertos, que se reunió en diciembre último, prestó mayor atención a las aplicaciones concretas y, en particular, al estudio de las aguas subterráneas.

Los expertos estimaron que los estudios para el aprovechamiento de las aguas subterráneas podrían constituir un amplio campo de aplicación de las técnicas radioisotópicas. No obstante, advirtieron que si para la hidrología de las aguas superficiales existen ya técnicas perfeccionadas que pueden ser fácilmente utilizadas por los hidrólogos, no ocurre lo mismo con respecto a las aguas subterráneas. Consideraron, pues, que tal vez conviniera preparar manuales en los que se describieran las técnicas radioisotópicas aplicables al estudio de dichas aguas y las condiciones en que pueden emplearse.

Al examinar esas técnicas, los expertos trataron de los diversos indicadores radiactivos que pueden utilizarse para determinar la edad de las aguas subterráneas. Además del empleo del tritio, estudiaron el del carbono-14 (radiocarbono producido en la atmósfera como resultado de reacciones inducidas por los rayos cósmicos), del silicio-32, del sodio-22 y de la radiactividad natural de los isótopos de la serie del uranio y el torio. Discutieron la forma en que los radioisótopos pueden emplearse en el estudio de las aguas superficiales -por ejemplo: en la medición del caudal de los ríos. Examinaron, además, la posibilidad de emplear isótopos estables en los estudios hidrológicos; como las concentraciones relativas de esos isótopos varían con la altitud, su empleo podría resultar sumamente útil para determinar el origen de las muestras de agua.

Las deliberaciones técnicas del grupo de expertos se resumirán en un segundo informe actualmente en preparación. Refiriéndose al Organismo, los expertos insistieron en la necesidad de ampliar sus actividades relativas al fomento de las aplicaciones de los radioisótopos en hidrología y, en particular, las encaminadas a perfeccionar las técnicas de empleo corriente.

### Simposio de Tokio

Los trabajos del segundo grupo de expertos se prosiguieron, unos tres meses después, en el Simposio internacional sobre la aplicación de los radioisótopos en hidrología, patrocinado por el Organismo. En ese simposio, que se celebró en Tokio del 5 al 9 de marzo, participaron un centenar de científicos de 14 países (Australia, Estados Unidos de América, Filipinas, Francia, Indonesia, Irán, Israel, Italia, Japón, Países Bajos, Reino Unido, República Federal de Alemania, Suecia y Tailandia) y estuvieron representadas la Comisión Económica para Asia y el Lejano Oriente (CEALO), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Organización Meteorológica Mundial (OMM)

y la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (UIGG).

Se presentaron y discutieron veintisiete memorias sobre el empleo de los isótopos para resolver los problemas relativos tanto a las aguas superficiales como a las aguas subterráneas. Entre las cuestiones que se examinaron cabe mencionar las siguientes: medición del caudal de los ríos, procesos de mezcla en ríos y lagos, arrastre de sedimentos y aluviones, velocidad y sentido de las corrientes subterráneas, y edad y velocidad de renovación de las aguas subterráneas.

## Caudal de los ríos y procesos de mezcla

Dos especialistas británicos, C.G. Clayton y D.B. Smith, presentaron un estudio comparativo de los métodos radioisotópicos de medición del caudal de los ríos. Los métodos de dilución, muestreo continuo y recuento total -que fueron los tres que se examinaron- se emplean ya corrientemente para medir el caudal de conducciones cerradas, pero su aplicación al caudal de los ríos no se ha ensayado todavía en gran escala. Los mencionados especialistas expusieron los resultados obtenidos con experimentos llevados a cabo en un arroyo y en dos ríos poco caudalosos del Reino Unido.

Esos métodos consisten esencialmente en dos operaciones: introducción de un indicador radiactivo en un determinado punto de la corriente y medición de la radiactividad en un lugar situado aguas abajo y a cierta distancia de dicho punto. Cuando se emplean los métodos de dilución y de muestreo continuo se toman muestras de agua para medir la concentración del radioisótopo y compararla con su concentración primitiva en el indicador, pero mientras con el primero de esos métodos el indicador se añade a una velocidad constante, previamente calculada, durante un determinado período de tiempo, en el segundo se añade rápidamente y de una sola vez en cantidad conocida. También existen algunas diferencias en los procedimientos de muestreo y medición. En cambio, la principal característica del tercer método es que las mediciones se efectúan sumergiendo contadores en el punto de muestreo y no se extraen muestras para su análisis.

La elección adecuada del punto de muestreo tiene suma importancia en los tres métodos. Si se encuentra demasiado próximo al punto donde se añade el indicador, el análisis de las muestras no dará una medida exacta del caudal, ya que el indicador no se habrá mezclado completamente con el agua. Por el contrario, si la distancia entre esos dos puntos es demasiado grande, se produce una dispersión excesiva y el indicador queda tan diluido que no permite obtener una medición óptima. Por lo que respecta a la elección del indicador, una de las principales limitaciones resulta de la posible absorción del radio-

isótopo por las materias en suspensión en la corriente o por los materiales que constituyen el lecho del río. La absorción depende del indicador elegido y de las características geológicas del cauce.

Después de exponer los aspectos técnicos de sus experimentos, los dos especialistas británicos expresaron la opinión de que el método de muestreo continuo es preferible a los otros dos, ya que es más fácilmente aplicable y permite alcanzar una mayor precisión. Por lo que respecta a los indicadores, manifestaron que el sodio-24 y el bromo-82 pueden utilizarse sin dificultades, pero que el fósforo-32 tiene un índice elevado de absorción. En muchos sentidos, el tritio es el indicador ideal; no es absorbido, se le encuentra en estado de elevada actividad específica y resulta poco costoso. Pese a su largo período, es uno de los radioisótopos menos tóxicos. Tiene, no obstante, el inconveniente de que es difícil de medir: como emite partículas beta de baja energía, esa operación requiere un equipo especializado de laboratorio. A juicio de los dos especialistas británicos, sólo debería emplearse para las mediciones del caudal de los ríos en aquellos casos en que no conviene utilizar isótopos emisores de rayos gamma.

En una memoria presentada por J. Guizerix y otros cuatro especialistas franceses se describían algunos ensayos del método de recuento total para la medición de caudales de ríos y de tuberías a presión de centrales hidroeléctricas. Esos ensayos se efectuaron separando con boquillas de aforo y cubas de nivel constante una parte de la corriente al pasar la ola de actividad.

Especialistas franceses y británicos informaron sobre los experimentos realizados con indicadores radiactivos para determinar los procesos de mezcla en ríos y lagos. Entre las investigaciones descritas cabe mencionar una medición en el lago Lemán de la radiactividad aportada por las precipitaciones y un estudio de los movimientos de las aguas de un estanque subterráneo natural, sometido a la acción de las mareas y parcialmente salado. Este último estudio ayudará a los ingenieros a establecer un método para extraer agua potable del estanque.

En una memoria presentada por M. Kato y otros investigadores de la Universidad de Tokio se daba información acerca de los experimentos realizados con indicadores en el río Sorachi con objeto de reunir datos exactos sobre la velocidad y el régimen de circulación del agua de una presa construida con fines múltiples. Los resultados de esos experimentos, que se llevaron a cabo con sodio-24, serán de utilidad para la utilización de las aguas destinadas al riego.

## Arrastre de aluviones y sedimentos

Una de las cuestiones más importantes que se examinaron en el simposio fue el empleo de indicadores radiactivos para calcular el arrastre de aluviones y

sedimentos, o sea, de materiales en suspensión o depositados en el lecho de un río. Hace diez años aproximadamente que los radioisótopos se emplean para investigar la sedimentación en puertos, ríos y estuarios. El método utilizado consiste en colocar arena marcada en el lecho del río y seguir sus movimientos con contadores suspendidos en botes y sumergidos en el agua. Pero como mediante ese método sólo se obtienen indicaciones cualitativas acerca de lo que ocurre con la arena marcada, la finalidad de las investigaciones actuales es encontrar técnicas que permitan efectuar estudios cuantitativos, por ejemplo: calcular las cantidades de arena acarreadas a lo largo del lecho de un río. Para comprender la importancia de esos estudios basta recordar que la velocidad con que los sedimentos se depositan contra una presa es uno de los factores que limitan su duración.

En una memoria presentada por G.H. Lean y M.J. Crickmore (Reino Unido) se describían diversas investigaciones encaminadas a establecer un método cuantitativo para la medición del acarreo de arenas. El primer requisito es que el indicador escogido para representar el movimiento que se estudia se comporte de igual manera que los sedimentos en los procesos hidráulicos. Algunos investigadores han utilizado partículas de arena después de marcar su superficie con un radioisótopo por adsorción de una solución radiactiva. Sin embargo, como las superficies marcadas son muy sensibles a la acción abrasiva provocada por la corriente, para los experimentos de larga duración es preferible utilizar partículas de vidrio con un elemento que, una vez irradiado, posea las propiedades de radiación deseadas.

Los dos especialistas británicos indicaban en su memoria que para medir con indicadores el transporte de partículas de arena o de materiales de aluvión en acequias existen cuatro métodos principales, denominados de integración en el espacio, de integración en el tiempo, de disolución constante y de velocidad de la nube. Exceptuando el primero, esos métodos presentan muchas analogías con algunos de los empleados para la medición de caudales de ríos y tuberías.

El primero consiste en dos operaciones: se inyecta la muestra en un punto determinado y, una vez transcurrido el tiempo necesario para que las partículas hayan "olvidado" su situación inicial y se hallen esparcidas por todo el campo, se calcula la velocidad de su centro de gravedad efectuando mediciones sucesivas de su concentración en el espacio. Por el segundo método la concentración se mide en un punto situado corriente abajo y a una distancia suficiente para que hayan dejado de existir las circunstancias en que se efectuó la inyección y para que las partículas inyectadas hayan adoptado la velocidad media de las transportadas por la corriente. El método de dilución constante es una variante de este último: la diferencia consiste en que la inyección es continua.

El método de velocidad de la nube es análogo al primero, pero cuando se utiliza para calcular caudales suele medirse no la concentración sucesiva de las partículas en el espacio, sino el tiempo medio que requiere su paso entre dos puntos.

En dicha memoria se indicaba que algunos de esos métodos habían sido experimentados en un canal de laboratorio con fondo de arena ondulado utilizando partículas de arena marcadas, de diferentes tamaños. Esos experimentos han demostrado que la medición del acarreo de arena y otros materiales de aluvión por los ríos es particularmente difícil y que la aplicación de cada uno de los métodos descritos suscita dificultades especiales. Su elección dependerá probablemente de las circunstancias de cada caso.

En otra memoria, presentada por J.E. Chabert y un grupo de especialistas franceses, se examinaban algunas técnicas para la medición del acarreo de sólidos en ríos aluviales. Los primeros ensayos, de índole cualitativa, se efectuaron en el río Níger (Malí) y en el Loira (Francia). Su finalidad era obtener indicaciones sobre la evolución de las zonas de acarreo en función del caudal, sobre la formación de los umbrales y sobre la velocidad de avance de las dunas. Más adelante se trató de establecer métodos cuantitativos para determinar con precisión la cantidad de sedimentos acarreada y, con este fin, se efectuaron experimentos en el Ródano y en el Loira.

### **Contribución al estudio de las aguas subterráneas**

El empleo de las técnicas radioisotópicas en el estudio de las aguas subterráneas fue objeto de una memoria presentada por Y. Harpaz y otros tres investigadores israelíes. Después de clasificar dichas técnicas, los autores las comparaban con los métodos tradicionales y demostraban no sólo que en algunos casos pueden sustituirlos y mejorar sus resultados sino que permiten ya resolver determinados problemas hidrológicos. A continuación se resumen los principales pasajes de dicha memoria.

Las técnicas radioisotópicas pueden clasificarse según los isótopos utilizados o según el principio que rige su aplicación. Los principales isótopos utilizados son:

- a) algunos isótopos estables en el agua, como el hidrógeno pesado (deuterio) y el oxígeno-18;
- b) el agua tritiada;
- c) otros radioisótopos producidos en la atmósfera e introducidos en el agua por un proceso natural;
- d) isótopos de la serie del uranio o del tritio existentes en la naturaleza;
- e) isótopos inyectados artificialmente (excluido el tritio).

Por lo que respecta a los principios de aplicación, esas técnicas pueden clasificarse en las tres categorías siguientes: técnicas de determinación de edades, técnicas de los indicadores y técnicas de análisis isotópico. Las técnicas de determinación de edades, basadas en la propiedad específica de la desintegración radiactiva, consiste en medir la modificación experimentada por la radiactividad de un isótopo entre el punto de introducción y el de análisis. El punto de introducción puede ser el lugar donde la lluvia repone el sistema de aguas subterráneas o una zona de transición entre dos sistemas adyacentes. Hasta ahora el isótopo más útil para la determinación de la edad de las aguas subterráneas ha sido el tritio producido por los rayos cósmicos, que marca las aguas pluviales con un contenido de tritio característico de cada localidad; pero se han propuesto otros, entre ellos el carbono-14. Las técnicas de los indicadores consisten en comparar la concentración de un isótopo en el lugar y en el momento de la medición con la existente en el lugar y en el momento en que fue inyectado. El análisis isotópico está basado en una comparación entre la concentración de un componente identificable de la masa de agua con la concentración peculiar de ese componente en una fuente. Con este fin puede utilizarse cualquier componente característico e identificable, por ejemplo: sales disueltas, oligoelementos, isótopos estables del oxígeno y del hidrógeno, así como los isótopos radiactivos empleados para la determinación de edades.

Una evaluación de las aportaciones de esas técnicas a los estudios hidrológicos pone de manifiesto que:

- a) los métodos de análisis nuclear, tales como el análisis por activación de los oligoelementos del agua o de las rocas y la prospección con neutrones o rayos gamma, completan eficazmente los métodos tradicionales de investigación;
- b) las sustancias isotópicas han permitido añadir una nueva técnica -la de determinación de edades- a los métodos de investigación de que disponían los hidrólogos y han abierto nuevas posibilidades al empleo de indicadores;
- c) en muchos casos, las tres principales técnicas isotópicas han permitido resolver directamente algunos problemas de ingeniería sin necesidad de disponer de una descripción hidrodinámica completa del sistema de que se trataba.

Bastarán algunos ejemplos para ilustrar lo que antecede. Los métodos de perforación o de prospección geofísica detallada, corrientemente empleados para averiguar la existencia y la extensión de un depósito de agua subterránea, son costosos y lentos; las técnicas isotópicas pueden ser sumamente ventajosas en la etapa de los estudios preliminares. La deter-

minación de edades y el análisis isotópico pueden servir, además, para indagar el origen de una masa de agua. Las técnicas isotópicas son también de utilidad para precisar la relación existente entre un manantial y una corriente o un depósito de agua, para evaluar la dispersión de una masa de agua en movimiento por un medio poroso y para determinar la dirección y la velocidad de una corriente subterránea.

Casi todas las operaciones mencionadas en el párrafo anterior son en cierto sentido estudios con indicadores; en esa esfera los isótopos ofrecen ventajas considerables. Aparte el hecho de que para cada circunstancia o situación puede utilizarse un isótopo con propiedades químicas y radiactivas peculiares, y que para identificarlos existen métodos de detección muy sensibles, hay que tener en cuenta que el factor temporal inherente a la desintegración radiactiva les dota de "memoria", de suerte que con una sola medición permiten obtener los mismos resultados que con un gran número de observaciones hidrológicas cuya realización requiere mucho tiempo. Otra de sus ventajas estriba en que el tritio, el hidrógeno pesado y el oxígeno-18 son isótopos de los elementos del agua y, por consiguiente, indicadores ideales para identificarla.

En resumen: la contribución de los isótopos a la determinación de los parámetros hidráulicos es limitada, pero los indicadores, y en particular los indicadores isotópicos, permiten medir más directamente todos los factores relacionados con el movimiento de las aguas y en ciertos casos, cuando es necesario seguir el recorrido efectivo de las partículas del agua, esos factores sólo pueden evaluarse mediante indicadores isotópicos. Como esta última operación es de suma importancia para abordar los problemas que plantean el tratamiento de los desechos y el mejoramiento de la calidad del agua, puede afirmarse que las técnicas isotópicas contribuyen eficazmente a la solución de estos problemas.

### **Algunas aplicaciones al estudio de las aguas subterráneas**

En su memoria sobre el empleo de los indicadores radiactivos en hidrogeología, R.W. Nelson y A.E. Reisenauer, especialistas norteamericanos, indicaban que las sustancias radiactivas no sólo facilitan los estudios tradicionales sobre las corrientes subterráneas, sino que pueden constituir un medio sumamente valioso para el análisis general y preciso de los sistemas de flujo. Aunque, por el momento, la necesidad de esos estudios detallados parece limitada a ciertos casos especiales -por ejemplo: a la evacuación de desechos radiactivos- en los que conviene conocer con la mayor exactitud posible el tiempo requerido para el desplazamiento, es muy probable que más adelante puedan tener muchas aplicaciones útiles.

Otro especialista norteamericano, C.V. Theis, manifestó que los indicadores permiten abordar directamente los problemas del desplazamiento de las materias que contaminan las aguas subterráneas, y constituyen probablemente el medio más eficaz para estudiar sobre el terreno el fenómeno de la dispersión en los suelos. Hizo observar, no obstante, que no permiten prescindir de otros métodos cuando se carece de los datos hidrológicos necesarios.

H. Moser y F. Neumsier, de la República Federal de Alemania, subrayaron la importancia del índice de filtración en los estudios sobre las aguas subterráneas e indicaron la manera de calcular ese índice mediante técnicas isotópicas. Explicaron, además, la forma en que estas técnicas pueden utilizarse para determinar la dirección y el caudal de las filtraciones en las presas de los embalses.

En una memoria presentada por D.J. Burton y los demás componentes del grupo de especialistas encargado de llevar a cabo, con la asistencia del OIEA, un proyecto relativo a las aguas subterráneas de Grecia, se describían los experimentos realizados utilizando tritio como indicador. La finalidad de ese proyecto era establecer, experimentar y aplicar una técnica para el aprovechamiento de las aguas subterráneas almacenadas en terrenos calizos. Cabe mencionar especialmente las investigaciones que se efectuaron en una región situada entre la alta meseta de Trípolis y la llanura y el golfo de Argos. Las aguas superficiales desaparecen de esta llanura por una serie de dolinas; a una distancia de 30 kilómetros, cerca de la costa, hay un cierto número de manantiales.

Para poder utilizar las aguas subterráneas almacenadas en ese terreno calizo e interceptar las que se pierden en el mar, era necesario obtener información sobre los puntos siguientes:

- a) conexiones entre las dolinas y los manantiales;
- b) tiempo que necesitan las aguas subterráneas para pasar de las dolinas a los manantiales;
- c) volumen de las aguas subterráneas que quedan almacenadas entre las dolinas y los manantiales.

En marzo de 1961 se introdujo en una de las principales dolinas una cantidad de agua tritiada con una actividad específica de 1 000 curies. Las muestras recogidas en los manantiales fueron analizadas en el laboratorio del OIEA con un espectrómetro de centelleador líquido. Se halló tritio en el agua procedente de uno de los manantiales y así pudo determinarse una conexión. El contenido de tritio de las muestras y el tiempo transcurrido hasta su aparición dieron indicaciones aproximadas sobre la cantidad de agua almacenada y la duración de su permanencia en el subsuelo. En un segundo experimento, realizado en febrero de 1962, se agregó a la corrien-

te que se vertía en otra dolina una cantidad de agua tritiada con una actividad de 400 curies. Al cabo de siete días se descubrió tritio en uno de los manantiales costeros. El contenido de tritio del agua de ese manantial alcanzó su concentración máxima durante el segundo día. Nueve días después de su primera aparición dejó de advertirse la presencia del indicador y hasta ahora no se ha descubierto tritio en ninguno de los otros manantiales. Este segundo experimento ha permitido también llegar a ciertas conclusiones provisionales sobre la cantidad de agua almacenada entre la dolina y el manantial, y sobre la velocidad de su desplazamiento.

Se presentaron varias memorias sobre el empleo del tritio y del carbono-14 para la determinación de la edad y de la velocidad de renovación de las aguas subterráneas. J.C. Vogel (Países Bajos) y D. Ehhalt (República Federal de Alemania) manifestaron que, dado el movimiento sumamente lento de las aguas subterráneas y su largo tiempo de retención, el carbono-14 (cuyo período es de 5 700 años) parece ser un excelente medio de investigación. Este isótopo se halla presente en el bicarbonato disuelto en las aguas subterráneas y, cuando concurren ciertas condiciones, puede utilizarse para determinar tiempos de retención que no excedan de 40 000 años.

En una segunda memoria, J.C. Vogel y otros dos investigadores describían los resultados de un estudio preliminar sobre los isótopos contenidos en las aguas dulces de Sudáfrica. Debido a las condiciones climáticas semiáridas, la composición isotópica del agua de lluvia, de las aguas fluviales y de las aguas subterráneas es netamente distinta de la que se observa en Europa y en los Estados Unidos. Como el análisis de algunas muestras de aguas subterráneas de Kalahari no reveló la presencia de ninguna cantidad importante de tritio, se llegó a la conclusión de que esas aguas habían estado retenidas durante más de 40 años. Se halló una muestra que contenía tritio, lo que significa que el agua del depósito de donde procedía tiene una edad media de unos treinta años o que una pequeña cantidad del tritio producido por los ensayos termonucleares ha penetrado en dicho depósito.

En la última sesión se examinaron algunas aplicaciones de carácter diverso. Figuraban entre ellas las investigaciones hidrológicas mediante el radioestroncio y el radiocesio procedentes de las precipitaciones.

En el discurso de clausura, el Dr. Eklund, Director General del OIEA, subrayó la eficacia de las técnicas isotópicas en los estudios sobre las aguas subterráneas. Dijo que en el simposio se había puesto de manifiesto que "la variedad de las aplicaciones de las técnicas radioisotópicas en hidrología aumentará probablemente de manera considerable en los años venideros". Indicó la conveniencia de que los

gobiernos estudien la posibilidad de emplear esas técnicas cuando preparen proyectos destinados a fomen-

tar el estudio o el aprovechamiento de los recursos hidráulicos.

---

# APLICACION DE ABONOS EN EL CULTIVO DEL ARROZ

## ESTUDIO DE ALGUNOS METODOS DE APLICACION CON AYUDA DE TECNICAS ISOTOPICAS

Ha dado ya sus primeros resultados un programa de investigaciones sobre la aplicación de técnicas isotópicas en el cultivo del arroz, iniciado hace más de un año por el Organismo Internacional de Energía Atómica. Los trabajos realizados en virtud de varios contratos de investigación, adjudicados por el Organismo como parte del citado programa, han permitido obtener datos importantes sobre las ventajas relativas de los diferentes métodos de aplicación de abonos fosfatados en el cultivo del arroz.

Es bien conocida la variedad y profundidad de las investigaciones agrícolas que el empleo de los radioisótopos permite hoy día. Puede decirse, en general, que gracias a la aplicación de las técnicas isotópicas se está obteniendo gradualmente un conocimiento detallado de los procesos químicos, biológicos y de otra índole que determinan el éxito o el fracaso de una empresa agrícola, conocimiento que a su vez permite perfeccionar los sistemas de cultivo. Ello se manifiesta, tal vez con más evidencia que en ningún otro aspecto, en la aportación de las técnicas isotópicas a los estudios sobre la abundancia y movimiento de las sustancias nutritivas, y su absorción y metabolismo en las plantas.

Aunque una modificación radical de los sistemas de cultivo debe basarse exclusivamente en un estudio minucioso de todos los procesos que entran en juego, los resultados de algunas investigaciones pueden ofrecer un interés práctico inmediato. Concretamente, el conocimiento de la eficacia relativa de los distintos métodos de aplicación de abonos -por ejemplo, si han de colocarse en la superficie del suelo o a cierta profundidad- puede ser de interés y utilidad inmediatas para los agricultores.

La necesidad de obtener esa información en lo que respecta a la aplicación de abonos fosfatados para el cultivo del arroz es particularmente acuciante. Los experimentos sobre el terreno efectuados durante varios años por procedimientos tradicionales no han proporcionado resultados inequívocos en cuanto a la eficacia relativa de los distintos métodos de aplicación de dichos productos para el cultivo de esa gramínea.

Pero ello no es sorprendente. Las variaciones del rendimiento de las diferentes parcelas de un campo experimental no son muy grandes. Aunque el fosfato puede emplearse de muy distintas maneras, los rendimientos suelen acercarse tanto al que se obtendría en condiciones óptimas, que la comparación de los rendimientos no proporcionaría un índice preciso y sensible de la eficacia de los fosfatos utilizados según los diversos métodos de aplicación. Sin embargo, si en un experimento de esta índole se utiliza superfosfato marcado con fósforo radiactivo (fósforo-32), es posible determinar la fracción de fosfato procedente del abono absorbida por la planta. De esta manera, puede determinarse directamente el grado de absorción, con independencia del desarrollo de las plantas o del rendimiento de los cultivos.

En la octava reunión de la Comisión Internacional del Arroz, celebrada en diciembre de 1961 en Nueva Delhi, varios investigadores comunicaron al representante del OIEA su deseo de utilizar técnicas isotópicas para comparar los diferentes métodos de aplicación de fosfatos en el cultivo del arroz. Tres meses más tarde, la Sección de Agricultura del Organismo, en cooperación con investigadores de varios Estados Miembros, preparó un experimento sobre el terreno y dispuso lo necesario para la distribución de abonos fosfatados marcados. Se concertaron siete contratos de investigación con especialistas de Birmania, Filipinas, Hungría, Pakistán Oriental, Pakistán Occidental, República Árabe Unida y Tailandia. Se llevaron a cabo nueve experimentos sobre el terreno, absolutamente idénticos, utilizando abonos marcados que provenían todos del mismo origen. Dichos experimentos se realizaron simultáneamente en tipos de suelo y en condiciones climáticas muy diferentes. A intervalos regulares se tomaron muestras de las hojas, que se enviaron para su análisis al laboratorio del Organismo en Seibersdorf o que analizaron los propios investigadores.

A fines del año pasado, funcionarios de la Sección de Agricultura del Organismo se reunieron con los titulares de los contratos de investigación y varios