

Los métodos del estado estacionario tienen la ventaja de permitir un cálculo rápido y de dar resultados cuya exactitud es más que suficiente si se tiene en cuenta el carácter incierto de los valores actuales y futuros de los datos en que se fundan. Sin embargo, están sujetos a algunas limitaciones; por ejemplo, se obtendrán costos de producción diferentes para años distintos si los parámetros de explotación o económicos, tales como el factor de carga de la central o el costo del combustible, varían durante la vida del reactor.

Estas dificultades pueden resolverse recurriendo al denominado método del valor actual, utilizado por algunos países para las evaluaciones económicas generales. Como ya se ha indicado, este método con-

siste en establecer un calendario en el que se inscriben (por ejemplo, año por año) todos los gastos de inversión, combustible, explotación y otros, así como los créditos derivados de la explotación del reactor durante toda su vida, más las cantidades de energía que producirá. A continuación se determina el costo de producción del kilovatio hora; este costo ha de ser tal que el valor actual de la energía que producirá el reactor sea igual al valor actual de todos los gastos en el momento de puesta en servicio del reactor. El método del valor actual está particularmente indicado cuando los ciclos de combustible son complejos, cuando el período necesario para alcanzar el equilibrio es relativamente largo o cuando se pueden predecir exactamente las variaciones futuras de los parámetros pertinentes.

---

## APLICACIONES DEL TRITIO EN LAS CIENCIAS FÍSICAS Y BIOLÓGICAS

En el curso de los últimos años, el tritio (isótopo radiactivo del hidrógeno) se viene empleando cada vez más con fines de investigación en química, física, biología, meteorología e hidrología. En muchos estudios de procesos biológicos y metabólicos, puede utilizarse como indicador el tritio o algún compuesto tritiado. También es útil para estudiar los efectos de las radiaciones sobre las plantas y los animales o las características de los reguladores bioquímicos, tales como las vitaminas y las hormonas. En hidrología, una de las principales aplicaciones prácticas del tritio consiste en el estudio de las aguas subterráneas, que es esencial para la planificación de las operaciones de riego en las regiones áridas o semiáridas.

La variedad de estudios e investigaciones que pueden realizarse mediante el tritio o los compuestos tritiados crece continuamente y en muchos casos los resultados obtenidos han permitido comprender mejor numerosos procesos físicos y biológicos.

En un simposio internacional reunido en Viena entre el 3 y el 10 de mayo de 1961 se examinaron diversos aspectos de la detección y uso del tritio en las ciencias físicas y biológicas. Alrededor de 270 hombres de ciencia de 27 países y cinco organizaciones internacionales tomaron parte en este simposio, preparado por el Organismo Internacional de Energía Atómica conjuntamente con la Comisión Mixta de Ra-

diactividad Aplicada del Consejo Internacional de Uniones Científicas. Se presentaron y discutieron 65 memorias relativas a una serie de temas especializados, agrupados en las siguientes materias: distribución del tritio en la naturaleza; métodos de enriquecimiento y aplicaciones hidrológicas; el tritio en la química y en la física; detección y recuento del tritio; preparación de compuestos tritiados; y utilización del tritio y de los compuestos tritiados en los estudios biológicos.

Al inaugurar el simposio, el Sr. Sterling Cole, Director General del OIEA, señaló que el mismo constituía la primera reunión internacional dedicada al examen de los progresos realizados en el empleo del tritio en las ciencias físicas y biológicas. Manifestó que algunas de las memorias presentadas se referían a trabajos en cuya ejecución el Organismo participa activamente; mencionó en particular los estudios acerca de la distribución del tritio en la naturaleza y sus aplicaciones en hidrología. En colaboración con la Organización Meteorológica Mundial, el OIEA ha emprendido un estudio de alcance mundial con objeto de determinar la concentración de los isótopos del hidrógeno y del oxígeno en las aguas pluviales y de investigar el ciclo de las aguas en diferentes partes del mundo. Además, el Organismo utiliza actualmente el tritio para estudiar algunos problemas relacionados con las aguas subterráneas en Grecia.



El Profesor Willard F. Libby preside una de las sesiones del Simposio

## El tritio en la naturaleza

La primera jornada del simposio se consagró a examinar la distribución del tritio en la naturaleza, así como los métodos de enriquecimiento y las aplicaciones hidrológicas de ese isótopo del hidrógeno.

El conocido científico estadounidense Willard Libby pronunció una conferencia sobre la geofísica del tritio, basada en los datos y resultados obtenidos en el estudio del movimiento del tritio -puesto en libertad a consecuencia de los ensayos termonucleares- por medición de muestras seleccionadas de precipitaciones pluviales recientes, de aguas superficiales y de aguas subterráneas. El método de recuento del tritio en el agua que se ha usado en estas mediciones ofrece, al parecer, buenas perspectivas para las aplicaciones geofísicas generales, especialmente en meteorología, oceanografía e hidrología.

Manifestó el profesor Libby que en el momento actual es de imperiosa necesidad tomar muestras de agua a fin de poder estudiar ciertas cuestiones que se han de plantear en lo futuro (el estudio que el OIEA ha iniciado en cooperación con la Organización Meteorológica Mundial pertenece a esa clase de problemas). En particular, habría que proceder a una recolección sistemática de las aguas de lluvia, fluviales y lacustres continentales y a una amplia toma de muestras de las aguas oceánicas superficiales, a fin de estudiar la circulación del tritio formado como consecuencia de los ensayos de armas termonucleares.

Los estudios sobre el contenido de tritio en el agua de lluvia, efectuados en estos últimos años, han aclarado algunas características de la circulación del tritio en la atmósfera después de su formación en las explosiones termonucleares. Sin embargo, ciertos detalles importantes, tales como la medida

en que el tritio atmosférico se intercambia con el hidrógeno del agua en las tierras y océanos, así como la rapidez con que desciende a la troposfera el agua tritiada proveniente de un depósito estratosférico, siguen prestándose a controversia y falta aún una solución definitiva.

En una memoria redactada por R. Gat, U. Karfunkel y A. Nir, de Israel, figuraban datos adicionales sobre estas cuestiones, obtenidos gracias a la medición del contenido de tritio en las aguas de lluvia de la región del Mediterráneo Oriental.

C. W. Carlston y L. Thatcher, de los Estados Unidos, señalaron que el tritio formado a raíz de los ensayos termonucleares realizados en 1958 constituye un indicador útil para el estudio del movimiento de la humedad atmosférica proveniente del Océano Pacífico y su distribución sobre el territorio de los Estados Unidos. A fin de rastrear dicho movimiento, el Servicio Geológico de los Estados Unidos ha emprendido en 1958 un estudio de la precipitación del tritio con las lluvias.

Los Sres. Carlston y Thatcher comunicaron también que durante la primavera de 1961 se llevaría a cabo en los Estados Unidos un estudio basado en el empleo del agua tritiada como indicador. El sitio elegido para el ensayo es el lago McMillan, que constituye un embalse poco profundo sobre el río Pecos, cerca de Carlsbad, en Nueva México. A través del fondo del lago se escurre un importante volumen de agua hacia un depósito subterráneo. A su vez, el agua de este depósito se descarga, por unos manantiales, en el canal del río Pecos, a unas tres millas aguas abajo del lago. El agua tritiada que ha de servir como indicador se introducirá en el lago, y se determinará el movimiento del indicador en el depósito subterráneo y a la salida de los manantiales, tomando muestras de estos últimos y de unos pozos de observación situados entre los manantiales y el lago. El movimiento del indicador a lo largo de este circuito, juntamente con otros datos pertinentes, se aprovecharán para calcular el volumen de agua del depósito subterráneo y la velocidad de desplazamiento del indicador.

W. Kaufman y D. Todd (Estados Unidos) describieron un estudio sobre el terreno realizado en el Canal Madera (California, Estados Unidos), que se llevó a cabo con el propósito de analizar la utilidad de técnicas de evaluación de las pérdidas por filtración en los canales. Se introdujo el tritio en el embalse del canal y se observó su llegada mediante pozos de prueba.

## Detección y recuento del tritio

En la naturaleza el tritio se forma por interacción de los rayos cósmicos con el oxígeno y el nitrógeno atmosféricos y, más recientemente, también a raíz de los ensayos de bombas nucleares. Pero, debido a la rapidez con que este isótopo se mezcla con las grandes cantidades de agua e hidrógeno gaseosos presentes en la atmósfera, las muestras naturales poseen una actividad específica muy reducida. Como el tritio se desintegra emitiendo partículas

beta de energía muy baja, su detección ofrece serias dificultades. Estos dos factores hacen que la medición del tritio natural resulte bastante difícil. Por lo tanto, revisten considerable interés las diversas técnicas y métodos de detección y recuento del tritio descritos en el curso del simposio.

Un dispositivo promisorio en este sentido, susceptible de simplificar y aumentar la precisión del recuento del tritio, fue el descrito por J. Sharpe y V. Stanley, del Reino Unido, quienes presentaron una memoria sobre el diseño de fotomultiplicadores perfeccionados para el recuento por centelleo.

En otra memoria de dos científicos del Reino Unido, I. S. Boyce y J. F. Cameron, se describía un método para el análisis de agua tritiada de baja actividad específica. Otros hombres de ciencia presentaron los resultados de sus estudios de un sistema de recuento mediante centelleadores líquidos. Al parecer, el método de centelleador líquido supera en eficacia a todas las otras técnicas conocidas de detección de bajas actividades. En otros trabajos se trató de la medición de la actividad del tritio natural en las sustancias biológicas.

Se presentaron varias memorias sobre los métodos de preparación de compuestos tritiados. En 1957, K. Wilzbach, del Argonne National Laboratory Estados Unidos, anunció que era posible introducir tritio en los compuestos orgánicos poniéndolos en presencia de tritio gaseoso y, desde entonces este procedimiento se utilizó para marcar centenares de compuestos. Se lo ha aplicado a gases, líquidos y sólidos y se obtuvieron resultados satisfactorios con algunos compuestos tan sencillos como el metano y con otros de estructura tan compleja como la insulina. Salvo contadas excepciones, se encontró tritio en el compuesto respectivo, pero, invariablemente, junto con la marcación se ha observado la aparición de tritio en una cantidad de subproductos. En su memoria el autor de este método comunicaba que en algunos casos había tropezado con serias dificultades para eliminar esas impurezas y aislar un producto radioquímicamente puro. El Sr. Wilzbach hizo una reseña de los resultados obtenidos con este procedimiento de marcación con tritio, a fin de delimitar el campo de aplicación del método y proporcionar datos acerca de las condiciones de exposición y los procedimientos de purificación.

En varios otros trabajos presentados por científicos de Australia, de la República Federal de Alemania y de los Estados Unidos, se puso de relieve la utilidad del procedimiento de Wilzbach y se aludió a la marcación de los compuestos orgánicos por medio del tritio y a algunas propiedades de los compuestos tritiados.

## Estudios biológicos

Se ha comprobado que el uso del tritio como indicador en los estudios biológicos ofrece ventajas debido a la facilidad con que permite efectuar la síntesis de compuestos de elevada actividad específica y por tanto, trabajar con vestigios del compuesto marcado; gracias a ello, las funciones fisiológicas

sólo se alteran en grado mínimo. Además, puesto que el período radiactivo del tritio es relativamente corto, es mayor el margen de seguridad que ofrece en su aplicación a los estudios del metabolismo del hombre. Las desventajas residen en la posibilidad de que la marcación sea inestable y en la dificultad de la determinación cuantitativa del tritio; sin embargo, este último problema se ha resuelto en forma bastante satisfactoria gracias a los nuevos métodos de detección y recuento.

En los estudios biológicos llevados a cabo con tritio en calidad de indicador, y especialmente de aquellos en que interviene el agua tritiada, se nota la influencia del intercambio entre el tritio y algunos átomos de hidrógeno ordinario, fenómeno que ocurre con frecuencia. Este intercambio suele afectar desfavorablemente la precisión y, algunas veces, la correcta interpretación de los resultados experimentales.

W. Siri (Estados Unidos) dio a conocer los resultados de estudios en cuyo curso se efectuaron mediciones directas del grado de intercambio en ratas, cobayos, palomas y conejos; por vía intravenosa o bucal se administró a esos animales agua tritiada y se determinó el espacio tritio y la renovación del tritio a partir de la concentración de tritio en la sangre. Los resultados preliminares de estos estudios indican que la corrección que es menester introducir para tener en cuenta el intercambio hidrógeno-tritio depende en cierta medida del tiempo durante el cual el agua tritiada permanece en el organismo objeto de estudio y, quizás, de la especie de que se trate y de su mayor o menor obesidad.

G. P. Okita y J. L. Spratt (Estados Unidos) señalaron en su memoria que el empleo extensivo que se viene haciendo en los últimos tiempos de compuestos marcados con tritio en los estudios biológicos, obliga a los investigadores a comprobar la estabilidad radiotrazadora de los compuestos tritiados. Incluso la purificación de compuestos marcados hasta alcanzar una actividad específica constante no excluye la posibilidad de que dentro de un sistema biológico se produzca un intercambio entre átomos de tritio y de hidrógeno.

En otros trabajos presentados por hombres de ciencia de Bélgica, Francia, Italia, la República Federal de Alemania, el Reino Unido y los Estados Unidos se trataron principalmente los aspectos generales de las aplicaciones del tritio en biología, de la síntesis de los compuestos biológicos tritiados, y de los efectos de las radiaciones emitidas por el tritio.

En un trabajo presentado por D. Marrian (Reino Unido) se examinó el tratamiento del cáncer por medio de un producto farmacéutico (Synkavit) marcado con tritio. Este compuesto se concentra apreciablemente en los tejidos tumorales, de modo que los efectos de la radiación se ejercen ante todo en dichos tejidos sin afectar a los órganos normales. El Sr. Marrian dijo que se habían tratado con el Synkavit tritiado cerca de 40 casos de cáncer avanzado, en doce de los cuales se observó una mejoría tempora-

ria. Sin embargo, previno contra la tendencia a exagerar el éxito de los resultados y agregó que se estaban llevando a cabo nuevas investigaciones.

Los Sres. B. Schultze y W. Maurer (República Federal de Alemania) presentaron una monografía sobre la distribución y el metabolismo de la timidina y compuestos afines tritiados que se emplean para el estudio del metabolismo celular.

En otros trabajos, se examinó el empleo del tritio en los estudios autorradiográficos en citobiología, el uso de compuestos marcados con tritio en el estudio de los ácidos nucleicos y del metabolismo de las proteínas en las células de la médula ósea y diversos aspectos de la utilización del tritio como indicador en el estudio del metabolismo celular.

### Conclusiones generales

Las memorias presentadas en las diez sesiones científicas del Simposio son prueba de que ya ha quedado establecida la utilidad de las técnicas basadas en el empleo del tritio como indicador, tanto en los estudios hidrológicos y meteorológicos como en física y química. El tritio se presta también para los estudios de biología debido a la facilidad con que permite marcar un número muy grande de compuestos metabólicamente activos, tales como las hormonas, las vitaminas y otros importantes componentes del organismo. Otra propiedad valiosa del tritio es su carácter de emisor beta débil, ya que la autorradiografía de los tejidos y de las células que contienen compuestos marcados con tritio permiten localizar el indicador con gran precisión.

En la sesión de clausura, el Dr. Henry Seligman, Presidente de la Comisión Mixta de Radiactividad Aplicada y Director General Adjunto de Investigaciones e Isótopos del OIEA, señaló que en muchos casos no existe ningún núcleo que pudiera sustituir al tritio para realizar determinadas operaciones con la misma exactitud. Agregó: "Aun sin tomar en cuenta

las múltiples aplicaciones del tritio, es indudable que los últimos progresos en la eficiencia de la determinación de este isótopo por los métodos de centelleo han contribuido apreciablemente a la difusión del uso del tritio en las ciencias físicas y biológicas".



El Dr. Richard L. Doan, destacado experto de los Estados Unidos en materia de energía atómica, llegado a Ankara a principios de junio para asesorar al Gobierno de Turquía en la preparación del programa de energía atómica. El Dr. Doan (a la izquierda, en la fotografía superior), que realiza esta misión en virtud del programa de asistencia técnica del OIEA, conversa en la Sede del Organismo (Viena) con el Director General, Sr. Sterling Cole, en una etapa de su viaje a Ankara