

# las técnicas nucleares y la lucha contra la contaminación

La pintoresca ciudad de Salzburgo ha sido escenario de un importante simposio en el que se ha examinado uno de los problemas más urgentes de nuestra civilización: la contaminación del medio ambiente.

La industrialización y la urbanización, condiciones indispensables de la vida moderna, tienen sus inconvenientes:

la contaminación de las aguas, la impurificación de la atmósfera y el envenenamiento de los suelos por sustancias tóxicas de origen industrial.

Los contaminantes, dispersados todos los días, amenazan la salud del hombre, ponen en peligro otras formas de vida y modifican a la larga el equilibrio de la biosfera.

¿Qué se puede hacer para resolver estos problemas?

En particular, ¿qué medios ofrece la ciencia nuclear para contribuir a su estudio y a su solución?

El Simposio sobre la utilización de las técnicas nucleares para medir y controlar la contaminación del medio ambiente, que duró cinco días, fue convocado por el Organismo Internacional de Energía Atómica con la finalidad de esbozar las primeras respuestas a estas dos preguntas. Participaron en él más de 170 expertos de 32 países y siete organizaciones internacionales.

Hablando en nombre del Director General, el Profesor Vasili Ferronsky, Director de la División de Investigaciones y Laboratorios del OIEA, resumió la situación de esta manera: «Tenemos que determinar hasta qué punto puede tolerarse la amenaza de la contaminación y durante cuanto tiempo podemos soportar los peligros con que nos enfrentamos si la situación permanece incontrolada. Amenazados por los contaminantes nocivos, debemos seguir su movimiento y su acumulación que ponen en peligro nuestros recursos de agua, aire y alimentos. En bien de la humanidad tenemos que afanarnos por descubrir los esquemas de circulación de estos contaminantes de la naturaleza, precisar su situación respectiva y determinar su destino final.

## El bienestar de la humanidad

Los progresos recientes de las técnicas nucleares (análisis por activación neutrónica, espectrometría por fluorescencia X, cromatografía en fase gaseosa por captura electrónica, espectrometría de masas y recuento de actividades bajo nivel) permitirán definir con mayor facilidad que hasta ahora, dijo el Profesor Ferronsky, los objetivos del control del medio ambiente. Dirigiéndose a los participantes en el simposio, agregó: «Con la activa contribución de todos ustedes, estoy convencido de que esta primera reunión internacional sobre la utilización de las técnicas nucleares para resolver los problemas de la contaminación contribuirá a aumentar el conocimiento del medio ambiente y constituirá un hito importante en la historia de la aplicación de los radioisótopos para el bienestar de la humanidad.»

El Sr. Heinrich Salfenauer, Alcalde de Salzburgo, recordó que el año 1970 ha sido proclamado Año Europeo de Protección de la Naturaleza. «En Austria», dijo, «país de turismo por excelencia, que es visitado por las oportunidades de esparcimiento y recreo que ofrece, deberíamos concentrar especialmente nuestra atención en este problema.»

El Dr. Hans Lechner, Gobernador del «Land» de Salzburgo, subrayó también la importancia de las investigaciones científicas sobre los problemas del medio ambiente. «No debemos resolver estos problemas—contaminación del agua, del aire y del suelo—deteniendo el progreso técnico y el desarrollo industrial», dijo. «En este caso deberíamos escoger entre la contaminación y el hambre. Hay que utilizar otros métodos y explorar otros caminos.»

Según los especialistas que participaron en el simposio estas palabras significaban: hay que medir todo lo que sea susceptible de medición, confiando en que los datos empíricos que se obtengan y las especulaciones de los hombres de ciencia permitirán enriquecer los conocimientos y ayudarán a comprender mejor los problemas. En el contexto del simposio, esto significaba que los expertos debían intercambiar información sobre las técnicas nucleares que permiten medir y analizar el movimiento y el comportamiento de las sustancias nocivas en el aire, el agua y el suelo. Sólo unos pocos expertos dudaron de que el segundo objetivo indicado en el título del simposio—«controlar la contaminación del medio ambiente»—sería el más difícil de realizar.

Sin embargo, se reconoció que, dadas sus características de sensibilidad, selectividad y precisión, las técnicas nucleares tienen grandes ventajas sobre los métodos tradicionales, pese a que con frecuencia estos últimos resultan más económicos. Así, algunos expertos sugirieron que la elección de las técnicas debía basarse tanto en su costo como en la

calidad de los resultados que con ellas se obtuviesen. El Dr. Knut Ljunggren, del Laboratorio de Técnicas Isotópicas de Estocolmo, dijo: «Nada justifica que, en relación con los métodos e instrumentos de medición más económicos, los medios nucleares (trazadores, métodos analíticos, medidores y otros instrumentos radioisotópicos) se consideren desde un punto de vista distinto del de su eficacia.»

#### Preparación del terreno para el control

El hecho de que se tenga acceso a todos los métodos no significa necesariamente que las técnicas analíticas nucleares hayan de quedar en segundo lugar. Estas técnicas tienen una gran ventaja: permiten llegar al origen de los contaminantes y esto puede ser a la larga una característica esencial que quizás permita preparar el terreno para una lucha eficaz contra la contaminación del medio en que vivimos. Muchos participantes dijeron que así lo esperaban.

Se adujo otro argumento: la dificultad de proceder a una comparación de los costos que fuese válida en todos los casos. Pero lo que en realidad conviene es comparar los diferentes métodos y los resultados con ellos obtenidos. «En los estudios sobre el medio ambiente», ha escrito Ljunggren, «y en particular en los basados en un examen de los sistemas ecológicos, el costo de una muestra suele ser muy elevado y, por tanto, parece más razonable analizar cada una de esas muestras preciosas recurriendo al mejor método posible en lugar de tratar de reducir al mínimo el costo del análisis.»

Una nueva disciplina científica, la radioecología, ha permitido obtener resultados muy interesantes. Equipos de especialistas en varias disciplinas están realizando un estudio sistemático del medio ambiente aplicando métodos nucleares a los problemas biológicos y han llegado ya a determinar de qué manera una zona de interdependencia biológica —el llamado sistema ecológico— se enriquece o se transforma.

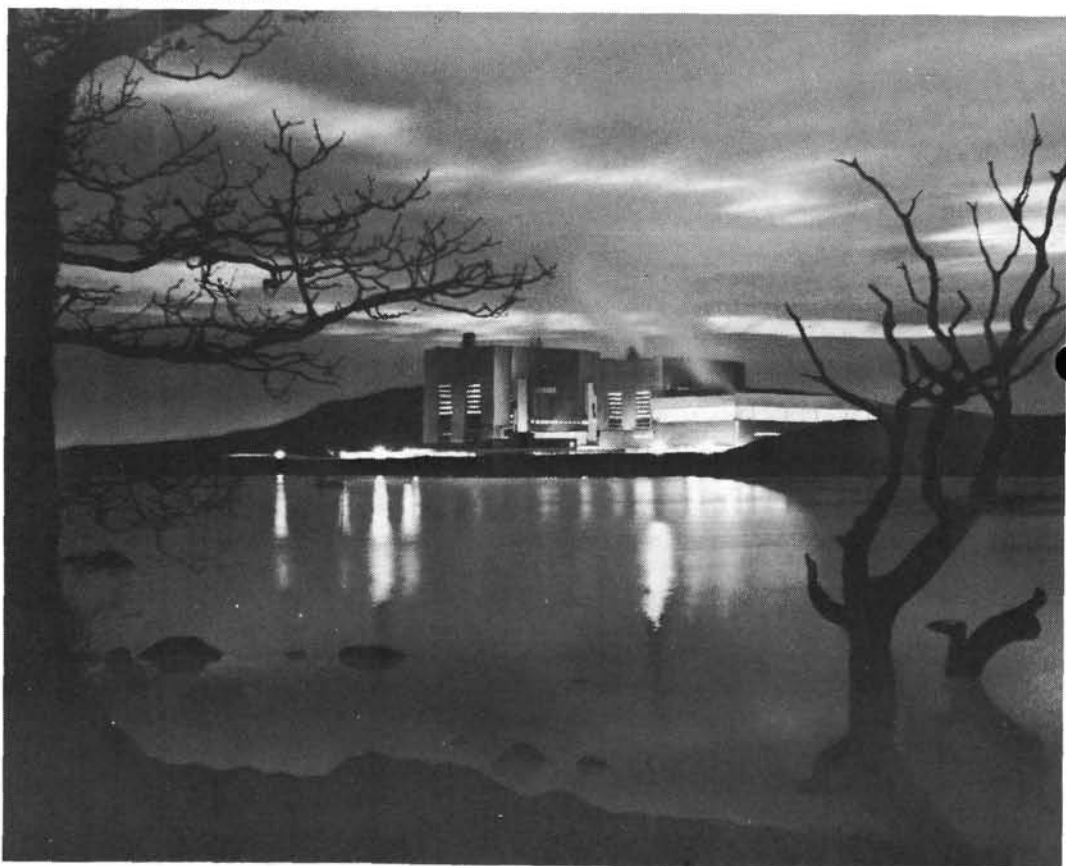
El comportamiento y la composición de los contaminantes varían a menudo durante su permanencia en un medio determinado. A este respecto el mercurio constituye un buen ejemplo. El examen de los problemas relacionados con este metal fue uno de los principales temas del simposio. El mercurio, conocido durante años como tóxico en forma de vapor, no figuraba hasta hace poco entre los contaminantes clásicos —monóxido de carbono, anhídrido sulfuroso, plomo, DDT. Pero la contaminación por mercurio ha llegado a ser una causa de preocupación en diversas regiones.

No obstante, algunos investigadores yugoslavos han medido la fijación de mercurio por los animales domésticos y los peces de los alrededores de Idrija (Eslovenia), donde se encuentran una mina y una planta de tratamiento de este metal, utilizando el análisis por activación neutrónica. Los animales examinados no han mostrado ningún síntoma patológico atribuible a la intoxicación por mercurio, y los investigadores han declarado en su informe: «Aunque ocasionalmente se producen intoxicaciones entre la población humana, los intoxicados suelen ser personas recién llegadas a la región. Es posible que haya cierta adaptación al aumento de las dosis de mercurio.» Radioecólogos suecos expusieron el fenómeno de la metilación espontánea del mercurio: radicales orgánicos se fijan en el mercurio para formar una combinación estable mucho más peligrosa que los compuestos inorgánicos de este elemento o que el mercurio en forma metálica. Se supone que otros elementos pueden estar también sujetos a esta metabolización. En consecuencia, se ha propuesto em-



Una vista tomada en Francia: podría haberse tomado en prácticamente cualquier país industrializado. En la lucha contra la contaminación pueden emplearse técnicas nucleares. Foto: UNESCO/F. Bibal

«La energía nuclear, en vez de ser una de las principales causas de la contaminación del medio ambiente, servirá para reducirla a medida que vaya sustituyendo a otras fuentes de generación de electricidad...». (Del Addendum del informe anual del Organismo al Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas, correspondiente a 1969—70.) Vista de la central nuclear de Trawsfynydd, de 500 MW(e), en Merioneth, Gales del Norte, al anochecer.



prender la ejecución de un programa de investigaciones sobre el arsénico, el antimonio, el cadmio y el selenio.

Se ha aducido que las transformaciones metabólicas en los organismos sólo pueden identificarse mediante técnicas nucleares. Puesto que se desconoce la composición química de los productos resultantes —los metabolitos— es evidente que los métodos clásicos no pueden ser de ninguna utilidad. En cambio, el estudio de los metabolitos utilizando métodos nucleares puede proporcionar no sólo información sobre el comportamiento y el transporte de ciertas sustancias en el interior de un sistema, sino también permitir la adquisición de conocimientos fundamentales sobre algunos fenómenos naturales, ya que «los trazadores» utilizados para explorar los procesos microquímicos indican al mismo tiempo el funcionamiento de los sistemas naturales.

La aplicación del análisis de sistemas a los problemas del medio ambiente puede dar resultados muy interesantes. Un arte nuevo, el de preparar modelos de sistemas ecológicos calculando sus entradas y sus salidas, puede ofrecer medios todavía no utilizados de simular procesos naturales. Los análisis de sistemas mediante computadoras sobre la base del repertorio de datos empíricos relativos al medio ambiente obtenidos por la investigación ecológica podrían contribuir pronto a un mejor conocimiento de los problemas de la contaminación.

#### ¿Indicadores activos o indicadores activables?

En el simposio se puso de manifiesto que todavía existe desacuerdo sobre si en los estudios de la contaminación son preferibles los trazadores activos o los trazadores activables. La adición de radioisótopos al material que se desea investigar tiene, por lo menos, la ventaja de permitir la medición directa. Existen dos tendencias en lo que respecta a la lucha contra las evacuaciones ilegales de hidrocarburos en las aguas navegables. Algunos expertos sugieren que se efectúen mediciones analíticas para identificar la fuente del contaminante mientras que otros se muestran partidarios de marcarlo con un radioisótopo. Al parecer, ambos métodos son aplicables en la práctica. El procedimiento analítico es el que más probabilidades tiene de ser utilizado.

En un plano más técnico, los expertos examinaron medios para mejorar la pureza de los materiales filtrantes y de los materiales de referencia para la comparación de los elementos. Se llegó a la conclusión de que la espectroscopia por fluorescencia X es un instrumento precioso para determinar las cantidades presentes en las aguas de metales pesados tales como el cinc, el cadmio y el plomo. Esta técnica puede servir para medir en el aire, el agua y la sangre concentraciones de anhídrido sulfuroso y de plomo de hasta diez partes por millón. Las técnicas con trazador doble, que utilizan la espectrometría de masas y el hexafluoruro de azufre como indicador, y los métodos basados en la liberación de materias radiactivas contribuyen también al control de la contaminación, siendo el segundo procedimiento particularmente eficaz para medir la contaminación debida a los gases de escape de los automóviles.

Los especialistas suecos que participaron en el simposio señalaron también que los mohos podían servir de «indicadores naturales de la contaminación», en particular para los metales pesados. Dejando aparte una pérdida insignificante debida al lavado por las lluvias, los mohos retienen estos metales porque no hay ningún intercambio con el suelo para su nutrición. Además, en este caso se pueden utilizar todos los procedimientos de análisis.

En los Estados Unidos la aplicación de las técnicas isotópicas al estudio de los problemas del medio ambiente comenzó hace unos quince años. Desde entonces, los estudios se han multiplicado; su finalidad consiste sobre todo en obtener un conocimiento preciso de los problemas especiales del medio ambiente y no en evaluar simplemente el interés eventual de una técnica dada. Estas técnicas son aplicadas cada vez más por los especialistas en el medio ambiente y por los ingenieros sanitarios y, con menos frecuencia que antes, por los especialistas de la tecnología de los isótopos. William E. Mott, de la División de estudios isotópicos de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, expuso brevemente los trabajos realizados durante los cinco últimos años con ayuda de isótopos en las regiones de los Estados Unidos donde el medio ambiente está contaminado. Después de referirse a los trazadores isotópicos, a los instrumentos radioisotópicos, al análisis por fluorescencia de rayos X, a los métodos basados en la liberación de materias radiactivas, a la espectrometría Mössbauer y al tratamiento por irradiación de los desechos domésticos e industriales, formuló las siguientes conclusiones:

La base tecnológica requerida para la aplicación del análisis por activación neutrónica a los problemas referentes a la contaminación está sólidamente establecida y se está explotando de muy distintas maneras;

Las posibilidades del análisis por rayos gamma instantáneos producidos mediante neutrones en los estudios sobre la contaminación no han sido todavía evaluadas;

Aunque actualmente están trabajando algunos innovadores, el análisis por fluorescencia X es relativamente reciente y la gama de las técnicas de base necesarias para convertirlo en una herramienta universal y preciosa para la medida de la contaminación no existe aún. Pero se espera que este método acabará desempeñando un papel excepcional en la medida y en el control de la contaminación;

Hasta ahora se han realizado pocos trabajos sobre la utilización de los trazadores radiactivos en las alcantarillas. Podría resultar muy ventajoso utilizarlos con más frecuencia en el curso del estudio y de la explotación de las plantas de tratamiento de aguas residuales; Los métodos isotópicos y otras técnicas nucleares ocupan y continuarán ocupando un lugar importante, sobre todo en lo que respecta a los análisis y las mediciones;

Si no se reduce el costo y no se modifican los medios de saneamiento, el tratamiento radiactivo de las aguas residuales domésticas e industriales no desempeñará un importante papel en el futuro inmediato.

En conjunto, el Sr. Mott se mostró optimista en lo referente a la lucha contra la contaminación del medio ambiente. «Ayudados y aconsejados por los técnicos de los isótopos» —declaró— «los diversos especialistas de la ciencia del medio ambiente utilizarán los procedimientos conocidos y de probada eficacia para resolver los problemas relativos a la contaminación. Las técnicas isotópicas serán una de las armas del especialista y continuarán aportando una contribución de suma importancia al control y a la reducción de la contaminación del medio ambiente en el curso de los próximos años.»

## Oligoelementos en la atmósfera

Algunos especialistas americanos de la Universidad de Michigan han estudiado el comportamiento y las variaciones de los oligoelementos en los aerosoles de la zona fuertemente industrializada del noroeste de Indiana y en las cercanías de algunos centros rurales. Una serie de 25 muestras de filtros de aire, recogidas simultáneamente, fueron objeto de un análisis no destructivo por activación neutrónica para la medición de 30 oligoelementos. Se pudo ver que en las cercanías de los grandes conglomerados industriales la concentración de varios elementos es sensiblemente más fuerte. Estas técnicas nucleares permiten también descubrir la fuente de la contaminación. Así, los especialistas han comprobado que ciertos contaminantes (Fe, Mn, Zn, Sn, Cr, W, Co, Sc, La, Ce, Th, Ca y Mg) parecen provenir netamente de la siderurgia local y de las industrias conexas.

La contaminación atmosférica sobre el mar es difícil de evaluar. Sin embargo, una concentración más fuerte de plomo en las muestras de hielos polares y de aguas oceánicas superficiales, la presencia de pesticidas en los polvos transportados por el viento sobre el Atlántico y el Océano Indico, y un aumento general de la concentración de los aerosoles del medio ambiente debida probablemente a actividades humanas, indican que incluso la atmósfera marina está cada vez más contaminada. Los expertos del Laboratorio de Investigaciones Navales de los Estados Unidos en Washington, D.C., han recogido muestras a baja altitud a unos 80 kilómetros de la costa oriental de los Estados Unidos, así como a bordo de un buque durante una travesía del Atlántico entre el Caribe y el Mediterráneo, y en una estación costera en las islas Hawai. Algunas muestras tomadas a lo largo de la costa atlántica de los Estados Unidos han revelado la influencia que ejercen en las regiones costeras las masas de aire de origen continental; se ha observado la presencia de polvo de origen africano en el centro del Atlántico. Para determinar la composición química de las muestras y el origen de las partículas, se han utilizado diferentes métodos de activación (neutrones, fotones y protones).

Otro medio de estudiar los factores que intervienen en la contaminación atmosférica, especialmente en los fenómenos de gran envergadura, podría consistir en examinar los radionúclidos producidos por interacción entre rayos cósmicos y componentes de la atmósfera. Según sus características físicas, estos radionúclidos, cuyo período varía entre algunos minutos y varios millones de años, pueden fijarse en los aerosoles atmosféricos y proporcionar así indicaciones sobre el comportamiento de estos últimos.

Otros radionúclidos pueden servir para identificar el origen de la contaminación del mar por los hidrocarburos provenientes de los buques. Especialistas suecos de la Universidad Lund Labelled han marcado el petróleo en un buque con dos radionúclidos de período diferente (el  $^{125}\text{I}$  (período de 60 días) y el  $^{131}\text{I}$  (período de ocho días)). Así se puede determinar la actividad relativa de los radionúclidos contenidos en el contaminante y se dispone de un procedimiento simple de datación y de identificación. Este procedimiento se puede hacer más preciso utilizando tres o más radionúclidos.

Teniendo en cuenta que el OIEA organizó un grupo de expertos sobre el empleo del análisis por activación en el estudio del metabolismo de los minerales en el hombre, que se reunió en Teherán en 1968, los expertos prestaron mucha atención a los niveles «normales» de diversos elementos en animales y plantas en condiciones de vida determinadas.

Sin embargo, sólo se ha identificado aún, por ejemplo, el 70% de las partículas que contaminan la atmósfera de las ciudades, no se sabe si pequeñas cantidades de selenio son nocivas o indispensables para los diversos organismos vivientes, pero se sabe que el cobalto y el molibdeno son útiles en concentraciones bajas.

#### Detección de los contaminantes en el hombre, los animales y las plantas

Los participantes en el simposio de Salzburgo estimaron, pues, que será necesario estudiar los oligoelementos en el hombre, los animales y las plantas, elucidar su papel fisiológico y determinar la influencia que ejercen en la biosfera. Ya se han realizado los primeros estudios. Aparte de las investigaciones sobre la fijación del mercurio, señaladas por los especialistas suecos y yugoslavos, un equipo francés del Centro de Estudios Nucleares de Grenoble presentó resultados inéditos sobre la detección de los elementos contaminantes retenidos por los vegetales. Mediante técnicas nucleares (utilizando, por ejemplo, neutrones térmicos provenientes de un reactor o neutrones rápidos de 14 MeV, producidos por un generador) los expertos han analizado residuos de pesticidas tales como la «mezcla bordelesa», fungicidas orgánicos a base de tio-carbonatos de cinc y manganeso, insecticidas a base de arsénico y compuestos a base de bromo. El método ha resultado bastante satisfactorio para analizar partes de fruta fresca o productos de la industria alimentaria. «Es posible ya», declararon los especialistas, «sin proceder a trabajos inútiles de análisis, establecer mapas de la concentración de flúor en diferentes especies vegetales anuales o perennes y determinar las zonas afectadas.»

Incluso algunos fenómenos poco importantes pueden contribuir a la contaminación. Los Sres. Peter E. Wilkniss y David J. Bressan, del Laboratorio de Investigaciones Navales de los Estados Unidos, Washington, D.C., describieron la polución «vista a través de un lupa». Cuando una burbuja de un milímetro de diámetro llega a la superficie del mar, una parte de ella sobresale formando un minúsculo casquete pelicular. En el momento de romperse, proyecta hasta 20 fragmentos de 1 a 20 m de diámetro, con un contenido medio de sales de  $10^{-11}$  gramos. Después, la cavidad de la burbuja se contrae y dispara hasta cuatro gotitas, la más alta de las cuales puede alcanzar una altura de 10 a 15 centímetros por encima de la superficie; tiene un diámetro de 100 m y contiene  $3 \times 10^{-8}$  gramos de sales.

Según los investigadores, las burbujas son de origen diferente: gases procedentes de procesos biológicos en las aguas naturales; absorción de gases disueltos en las partículas suspendidas; turbulencias en la cresta de las olas originadas por el viento; impacto de copos de nieve o de gotas de lluvia sobre la superficie del agua. Lo sorprendente es que, según las evaluaciones de los especialistas,  $10^9$  toneladas de sales inorgánicas provenientes de las aguas del globo se inyectan así cada año en la atmósfera.

Desgraciadamente, por culpa del hombre, este impresionante fenómeno natural ha llegado a ser una fuente importante de contaminación. La explosión de las burbujas esparce por la atmósfera no sólo grandes cantidades de partículas de sales sino también muchas sustancias nocivas que provienen de los depósitos de tratamiento de las aguas residuales, de los ríos, lagos y estuarios contaminados y, en particular, de la resaca a lo largo de las costas y de los mismos océanos.