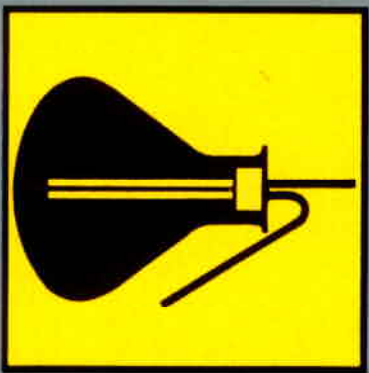
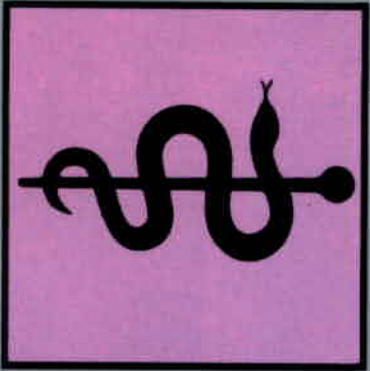


**Los
isótopos
en la vida
cotidiana**



Los isótopos en la vida cotidiana

Organismo Internacional de Energía Atómica

Viena (Austria)

Índice

Introducción	2
Agricultura y alimentación	4
Cultivos	6
Productos agroquímicos	8
Mutaciones	11
Producción pecuaria	15
Lucha contra los insectos	17
Gusano barrenador del Nuevo Mundo	17
Moscas de la fruta	17
Mosca tsé-tsé	17
Esterilidad F-1	18
Otra tecnología	18
Conservación de alimentos	18
Aplicaciones relacionadas con la salud humana	22
Medicina nuclear	22
Radiofármacos	24
Cardiología nuclear y otros métodos de diagnóstico	25
Métodos de diagnóstico <i>in vitro</i>	27
Empleo de radionucleidos para el tratamiento de enfermedades	28
Medicina nuclear terapéutica	28
Teleterapia	28
Braquiterapia	29
Dosimetría	30
Biología radiológica	31
Nutrición	31

Industria	32
Los radisótopos como trazadores	34
Instrumentos radisotópicos	36
Radiografía gamma	40
Autorradiografía	41
Radiografía neutrónica	41
Detectores de humo	42
Fuentes luminosas	42
Empleo de radiaciones en procesos industriales	42
Tratamiento con haces de electrones	42
Hidrología	44
Aplicaciones	46
Geología, geoquímica, geofísica y datación	52
Medio ambiente	56
Aire	58
Agua	58
Suelo	59
Investigación científica básica	60
Actividades del OIEA en programas coordinados de investigación que comprenden el empleo de isótopos o radiaciones	63
Participación del OIEA	64

Introducción

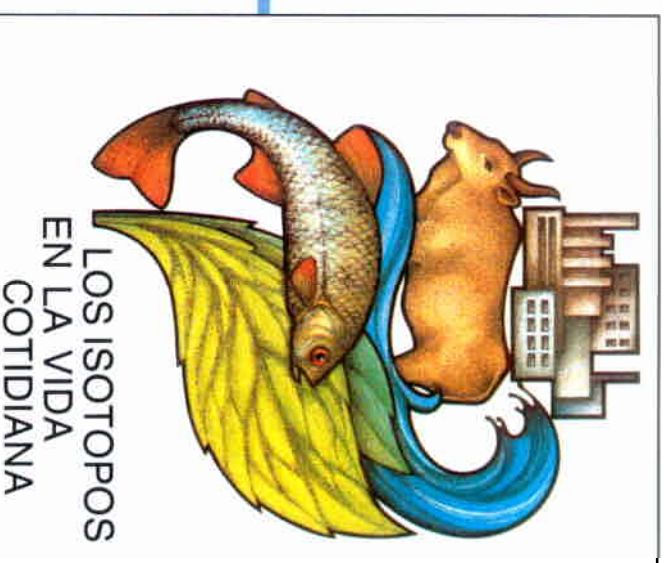
La primera pregunta que se viene a la mente al leer el título de este folleto es: ¿POR QUÉ se necesita una publicación especial sobre una técnica, sobre un instrumento científico determinado? Los cordones de zapatos también son un instrumento, pero nadie ha escrito un folleto sobre el uso de los cordones de zapatos. ¿A qué se debe que los isótopos (o nucleidos) merezcan tantos trabajos, tantos esfuerzos y que sus cualidades se aprecien tanto?

Los isótopos constituyen un instrumento que puede cumplir algunas tareas mejor, más fácilmente, con más rapidez, en forma más simple y a menor costo que otros métodos que con ellos compiten. Algunas mediciones no podrían efectuarse sin el empleo de isótopos, pues no se dispone de métodos alternativos.

Los isótopos son instrumentos ideales para su empleo en análisis: un solo átomo puede detectarse con el uso de isótopos radiactivos, mientras que con los métodos químicos el límite de la detección de un

elemento se eleva un millón de veces. Los isótopos estables pueden también detectarse actualmente con gran exactitud, aunque sin la misma sensibilidad que los isótopos emisores de radiaciones (radiactivos).

Reviste la mayor importancia, especialmente en las labores biológicas y médicas, el hecho de que los radisótopos puedan localizarse durante un proceso biológico. La administración inicial de una pequeña cantidad de radisótopos seguida de la observación del camino recorrido por este compuesto en el cuerpo mediante simples mediciones de las radiaciones desde el exterior, permite también controlar el funcionamiento de determinadas glándulas. A quienes muestran preocupación por esas pequeñas cantidades de radiactividad, cabe recordarles que en sus alimentos toda persona ingiere constantemente potasio, elemento que posee una ligera radiactividad y en cuya compañía los animales y seres humanos han vivido desde hace mucho tiempo. Frente a la mayoría de esas aplicaciones —y son muchas— no existen métodos alternativos.



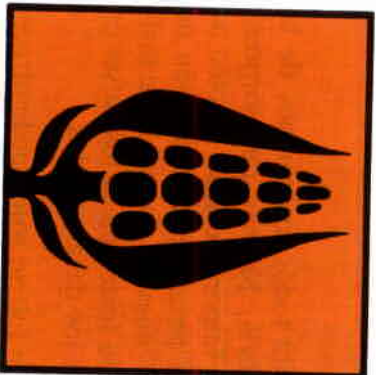
Fuentes más grandes —algunas un millón de veces más potentes— que emiten radiaciones penetrantes pueden utilizarse como unidades de rayos X portátiles para comprobar las soldaduras de las tuberías subterráneas. Esas fuentes también se emplean en determinados análisis especialmente adecuados para trabajos sobre el terreno, como sucede en geología. Las fuentes muy grandes, que son unos millones de veces más potentes que las actividades utilizadas como trazadores, tienen la capacidad de destruir las bacterias u otros organismos de putrefacción presentes en los alimentos, pueden emplearse para la esterilización de suturas o jeringas médicas o para transmitir propiedades útiles a algunos materiales.

Como las fuentes isotópicas resultan relativamente baratas y los instrumentos son fáciles de conseguir y su utilización es simple, esas fuentes tienen gran aplicación

en prácticamente todos los campos de la ciencia e industria. No hay que sorprenderse de que la importancia del empleo de esos medios, a pesar de la expansión de otros métodos nuevos, aumente actualmente de manera sostenida en los países en desarrollo y en los desarrollados.

El presente folleto solo puede ofrecer una visión panorámica del gran número y la variedad de los diferentes tipos de aplicaciones cotidianas útiles. Esto es obvio si se tiene en cuenta que, por ejemplo, considerando solamente la medicina, el índice de un libro sobre todos los empleos de los isótopos y radiaciones con fines de diagnóstico y terapéutica ocuparía docenas de páginas; por lo tanto, solo cabe pasar revista brevemente a esos medios de la ciencia en sus diferentes campos; en algunos casos se dan ejemplos para ilustrar su aplicación y los resultados conseguidos.

Agricultura y alimentación



En las investigaciones agrícolas, los isótopos y las radiaciones se utilizan en tantos campos y de tantas maneras que es difícil hacerse un cuadro adecuado de su enorme importancia. En los laboratorios de los países desarrollados, los isótopos se emplean corrientemente en conjunto con otros variados medios modernos de investigación cuyo número aumenta sin cesar. En las emergentes biotecnologías, que los científicos agrícolas utilizan cada vez más, los isótopos constituyen un instrumento básico sin el cual no podrían realizarse las investigaciones en biología molecular.

Los principales problemas que los isótopos y radiaciones ayudan actualmente a resolver son los siguientes:

- determinar las condiciones necesarias para optimizar la eficacia de los fertilizantes y el agua, así como la fijación biológica del nitrógeno;





Foto: Ashri



- desarrollar variedades de cultivos agrícolas y hortícolas de alto rendimiento, bien adaptadas y resistentes a las enfermedades con empleo de mutaciones radioinducidas;
- erradicar o controlar las plagas de insectos utilizando insectos esterilizados o alterados genéticamente con radiaciones;
- mejorar el rendimiento reproductivo, la nutrición y la salud de los animales empleando radioinmunoanálisis y técnicas conexas, y trazadores isotópicos;
- reducir las pérdidas posteriores a la cosecha mediante la eliminación de los brotes y la contaminación en virtud del tratamiento por radiaciones;
- reducir las enfermedades contagiadas por los alimentos y prolongar el período de conservación mediante la utilización de radiaciones; y
- estudiar los medios para reducir la contaminación originada por los plaguicidas y productos agroquímicos.

Gracias a la creación por el OIEA y la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) de una División Mixta que abarca las técnicas nucleares en la agricultura y la alimentación, las actividades en esos campos han progresado y se han puesto en práctica en países en desarrollo, los que han obtenido inmensos beneficios.

Cultivos

Para un buen cultivo se necesita un suelo con suficientes nutrientes y humedad. Las técnicas nucleares son ideales para medir la eficacia del aprovechamiento de los fertilizantes por los cultivos y para vigilar el contenido de humedad.

En la agricultura moderna, el empleo de fertilizantes es esencial para aumentar al máximo los rendimientos de los cultivos; por ejemplo, es corriente alcanzar en muchos suelos un aumento del rendimiento de los cereales de un 50% gracias a una fertilización eficiente. Para brindar alimentos a la población mundial que crece sin cesar, se estima que el consumo de fer-

tilizantes dentro de 20 años ha de ser cuatro o cinco veces superior al actual. Para reducir a un mínimo absoluto la necesidad de fertilizantes, y de ese modo rebajar los costos de producción de los agricultores y aminorar el daño al medio ambiente, se necesitan estudios que permitan conocer las virtudes relativas de los diferentes procedimientos de fertilización en lo que respecta, por ejemplo, a los métodos para aplicar el fertilizante, la oportunidad de su aplicación y los tipos de fertilizantes que han de usarse. El método utilizado para resolver estos problemas exige introducir en el suelo cantidades conocidas de fertilizantes marcados con



isótopos, en diversos tiempos y diferentes lugares. Como la planta no distingue entre los elementos provenientes del fertilizante marcado y los del suelo natural, es posible medir la cantidad exacta de nutrientes de fertilizante captados por la planta.

Los resultados de esta investigación se han incorporado a las prácticas agrícolas relativas a los cereales y han permitido aumentar de manera importante la productividad de los cultivos, reducir la aplicación de fertilizantes —y por ende los costos— y han sido favorables para el medio ambiente al reducir considerablemente los fertilizantes residuales en los suelos. Las recomendaciones basadas en los resultados de los experimentos realizados en este campo se han aplicado en los programas de fertilizantes organizados por la FAO en muchos países y han permitido ahorros importantes; un país que utiliza estas técnicas afirma haber ahorrado, contando únicamente los cultivos de maíz, nada menos que 36 millones de dólares de los Estados Unidos al año.


Se han adaptado métodos naturales similares para evaluar los depósitos de fosfato de roca, que resulta barato como alternativa frente a los fertilizantes fosfatados caros y a menudo importados, y para descubrir el modo más eficiente de utilización de esos depósitos de fertilizantes con miras a un máximo crecimiento de las plantas.

Aunque el nitrógeno constituye un 80% de los gases de la atmósfera, son pocas las plantas que pueden aprovecharlo directamente. Sin embargo, gracias a un

proceso denominado fijación biológica del nitrógeno, las plantas son capaces de aprovechar el nitrógeno del aire. El proceso más importante es resultado de la simbiosis entre una planta y una bacteria, y ha despertado gran interés en los últimos años.

Las legumbres que fijan el nitrógeno pueden suministrar abundantes proteínas para el consumo humano y animal y también aumentar el nitrógeno en el suelo. La planta acuática Azolla, por ejemplo, puede obtener de un 80 a un 90% de su nitrógeno mediante fijación, y es muy valiosa para suministrar nitrógeno a los cultivos de arroz con cáscara. A fin de obtener los máximos frutos de este proceso biológico único, se utilizan isótopos para descubrir la cantidad de nitrógeno que la planta puede fijar y las formas de aumentar esta fijación. Las técnicas isotópicas constituyen un medio ideal para distinguir el nitrógeno derivado de la atmósfera, el del suelo y el del fertilizante aplicado.

El agua es el principal factor limitativo de la producción agrícola en muchas zonas del mundo. El aprovechamiento eficiente del agua en sistemas de riego exige un permanente control del contenido de humedad del suelo. Las sondas neutrónicas para medir la humedad constituyen instrumentos ideales, que ayudan a los físicos especializados en suelos a lograr el máximo aprovechamiento de recursos hídricos limitados. Gracias a estos métodos, se consigue mejorar los procedimientos tradicionales de riego y, en algunos casos, puede ahorrarse hasta un 40% del agua.



Productos agroquímicos

La producción agrícola descansa en gran medida en las aportaciones químicas: fertilizantes para elevar la producción y plaguicidas para eliminar las malezas e insectos. La utilización excesiva de esos productos químicos pone en peligro el medio ambiente y los alimentos. Los isótopos son medios ideales para estudiar el comportamiento, la distribución y los residuos de los productos agroquímicos en el suelo, el agua, las plantas, los animales y sus productos.

Como resultado de la utilización de isótopos, ha sido posible concebir modalidades más seguras de aplicación de los productos agroquímicos y fórmulas más seguras que son más eficaces para combatir las plagas y promover el crecimiento, y que a la vez resultan menos peligrosas para la salud y el medio ambiente.

Mutaciones

A lo largo de siglos, la humanidad ha ensayado todas las formas posibles de aumentar la cantidad y mejorar la calidad de los cultivos. La evolución natural es resultado de la mutación y la selección espontáneas de los mutantes más aptos. La tasa de aparición de mutaciones puede multiplicarse en virtud del tratamiento con radiaciones, lo que acelera la evolución y la selección de los cultivos superiores.

En los últimos 50 años, diversos programas de fitotecnia por mutaciones han incluido la inducción de mutaciones con radiaciones o productos químicos a fin de desarrollar cultivos mejorados.

Los mutágenos físicos, como rayos X, rayos gamma o neutrones rápidos, son los que se aplican con mayor frecuencia y su utilización ha originado el mayor número de cultivos mutantes mejorados. El

número de variedades de cultivos derivados de mutantes inducidos sobrepasa ya en el mundo entero la cifra de 1500, lo que ha permitido un aumento de miles de millones de dólares en los ingresos anuales de los agricultores.

Entre las características deseables importantes que es posible lograr gracias a las irradiaciones se cuentan las siguientes:

- **Aumento de la resistencia al encaimado:** Las propiedades que se buscan son la disminución de la altura de la planta y una mayor dureza de su tallo, para que pueda resistir la lluvia y las tormentas.
- **Modificación del tiempo de maduración:** Una maduración temprana es importante para eludir las heladas, plagas, etc., o simplemente para dar cabida en el terreno a otros cultivos.



- **Aumento de la resistencia a las enfermedades:** Tiene gran importancia en los esfuerzos para reducir, a fin de proteger el medio ambiente, la utilización de productos químicos contra las plagas.
- **Mejoramiento de los caracteres agronómicos:** Por ejemplo, mayor resistencia al invierno, aumento de la tolerancia del calor o una mejor adaptabilidad general a las condiciones de los suelos existentes.
- **Aumento de los rendimientos:** El rendimiento de muchas variedades de cultivos se ha multiplicado varias veces después de las mutaciones inducidas con empleo de técnicas nucleares.
- **Mejoramiento de las características de las semillas:** Aumento del valor nutritivo (contenido de proteínas o aceites), de la facilidad de cocción y de disolución o reducción del tiempo de cocción.

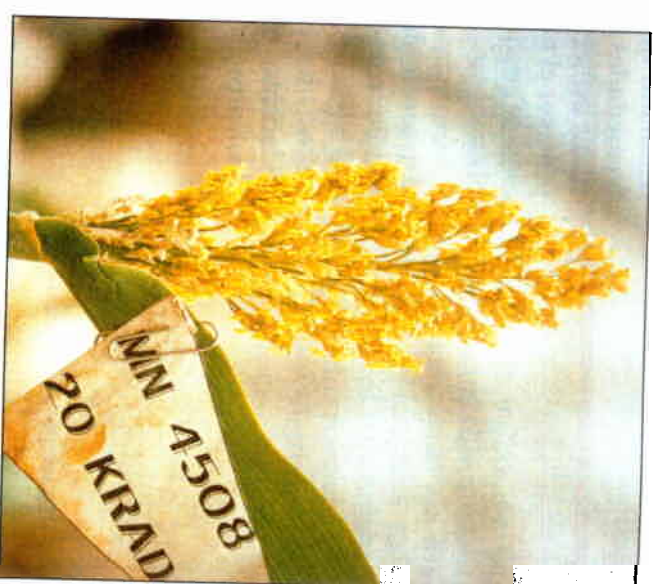
Variedades de mutantes comerciales

Cultivo	Variedad	País
Algodón	NIAB78 Lumian N 1	Pakistán China
Alubia, frijol	Gratiot, Salinac	Estados Unidos
Arroz	Calrose76, M-401 Kashmir Basmati IRAT 13 RD 6 Atomia II Yuanfengzao Wasata, Heiga, Jaran Co 449, Co 997	Estados Unidos Pakistán Côte d'Ivoire Tailandia Indonesia China Polonia India
Arveja, guisante	Triumpf, Triumph Diamant, Krystal Midas Stellar	Alemania, Reino Unido Checoslovaquia Reino Unido Canadá
Caña de azúcar	Castelporziano, Creso Cargidurox Novosibirskaya 67 Sirius Mv 8	India Unión Soviética Italia Francia Unión Soviética
Cebada	Perrynets	Alemania
Colza	Star Rugby	Hungría
Girasol	Arun Ahnsanggae Kalika	Estados Unidos India Corea India
Pomelo		
Ricino		
Sésamo		

Muchos de los mutantes radioinducidos han influido grandemente en los ingresos de la región en que se han implantado, y en algunos casos incluso en el ingreso nacional. Uno de los primeros éxitos se alcanzó con relación a la menta. La única fuente de esencia de menta de los Estados Unidos era la variedad Mitcham que fue arrasada por una micosis. Los métodos de fitotecnia por cruzamiento no lograron producir una menta resistente a la enfermedad. Las técnicas de radiaciones indujeron una resistencia que permitió salvar el sabor original de la menta apreciado por millones de personas en el mundo.

La historia de otro éxito notable de la aplicación de radiaciones para obtener mutantes económicamente valiosos se sitúa en el Pakistán. La Comisión de Energía Atómica del Pakistán facilitó en 1983 un nuevo mutante de algodón, que se convirtió en la variedad más productiva del país. ¡En términos generales la producción algodonera del Pakistán se duplicó! Se estima que el valor de los cultivos de este mutante durante 1988-1989 superó los 1600 millones de dólares de los Estados Unidos. Sin embargo, no siempre el éxito de un mutante se produce tan rápidamente como en este caso; a veces pasan décadas antes de que su utilidad se reconozca plenamente.

En Italia, donde casi todo el mundo come pasta, el 50% de esa pasta proviene de una variedad desarrollada mediante mutaciones. En China este método ha arrojado resultados extraordinarios: cierto tipo



La radiaciones se utilizan para mejorar plantas como el sorgo.

de arroz madura actualmente 24 días antes, otro tipo tiene una caña 20 cm más corta y en un tercer mutante se consiguió un contenido muy alto de proteína (15,6%). Cientos, si no miles de esas características beneficiosas se han desarrollado en los últimos 10 años gracias a mutaciones producidas artificialmente solamente en China, donde casi la décima parte de la superficie total cultivada está dedicada a cultivos derivados de mutantes.

La lista de países que han puesto a disposición de los agricultores variedades de cultivos desarrolladas con mutaciones inducidas es impresionante. Más de 40 países han facilitado más de 1500 mutantes, de los cuales menos de un 10% han



sido inducidos químicamente y más de un 90% con radiaciones, lo que constituye

indudablemente uno de los logros más significativos de la "era atómica".

Producción pecuaria

Muchos animales nos proporcionan carne y leche. También nos dan lana y pieles para fabricar ropas y otros productos. En muchos países los animales también aportan combustible para cocinar y energía para arar la tierra y recoger la cosecha. En algunos países la economía y el bienestar de la población dependen de los animales y los radisótopos están ayudando a obtener mejores resultados. ¿Cómo consiguen los radisótopos este mejoramiento? Gracias a los siguientes factores:

- aumento del peso del cuerpo y del rendimiento lechero de los animales gracias al mejoramiento de los piensos;
- mejoramiento de la reproducción del ganado mediante determinación exacta del período del ciclo reproductivo en virtud de la medición de las hormonas con métodos isotópicos; y
- eliminación de las enfermedades mediante la producción de vacunas en virtud de la irradiación con rayos X, los que son seguros y de buen rendimiento económico.

Los radisótopos se utilizan para descubrir la mejor forma de alimentar a los animales a fin de que aprovechen de mane-

ra óptima los pastos disponibles y los subproductos de diversas industrias agrícolas que normalmente se destinan a su alimentación. Esto se consigue marcando los alimentos y algunos metabolitos del cuerpo con isótopos, como el carbono 14, y luego vigilando su actividad dentro del sistema digestivo del animal y en otras partes del cuerpo para determinar los lugares y tiempos en que se descomponen y la eficiencia con que se convierten en tejido corporal o leche. En efecto, los isótopos se utilizan para determinar el valor nutritivo de los piensos del ganado a fin de elegir para alimentar la mejor combinación de los materiales potencialmente disponibles. Por la misma razón, si se descubre que determinado alimento no es particularmente nutritivo, los isótopos pueden emplearse para examinar las formas de mejorarlo, como por ejemplo tratándolo con productos químicos o suplementándolo con otro material a fin de aumentar la capacidad del animal para digerirlo.

Los métodos isotópicos han estado en el centro de muchos de los grandes progresos realizados en los últimos quince años, como los progresos relativos a la forma de alimentar a los animales y aumentar su capacidad para proporcionar productos útiles. Un buen ejemplo se conoció recientemente en Indonesia. En ese país, los

búfalos son decisivos por su participación en los trabajos de producción de arroz y por el aprovechamiento que se hace de su carne, debido a lo cual los agricultores necesitaban mejorar los métodos de alimentación de esos animales a fin de aumentar su crecimiento y su capacidad para arar la tierra. El problema era que los únicos materiales disponibles para alimentarlos eran pastos de baja calidad y diversos subproductos de la agricultura.

Después de utilizar isótopos para estudiar la eficiencia con que digerían esos materiales, los científicos de Indonesia pudieron desarrollar un bloque multinutriente que los búfalos lamen. Esto permitió aumentar en más de 3 kg por semana su ritmo de engorde. La alimentación de los búfalos con este bloque tuvo otro resultado importante para los agricultores: en lugar de tener que alimentarlos con 55 toneladas de pasto para lograr un aumento del peso corporal de una tonelada, les bastaba con alimentar los animales con solo 10 toneladas. Este resultado fue altamente valorado porque el pasto debía cortarse a mano y había que trasladarlo al lugar en que se hallaban los animales.

Otro uso importante de los isótopos en la ganadería se refiere a la reproducción. Las hembras solo pueden ser fecundadas cuando sus ovarios funcionan bien y se encuentran en la fase adecuada de sus ciclos reproductivos. Estos factores pueden averiguarse midiendo los niveles de las hormonas reproductivas que controlan la actividad de los ovarios (en particular la

hormona denominada progesterona), con empleo de radioinmunoanálisis (RIA).

Esta técnica es muy simple y resulta también suficientemente sensible para medir las concentraciones sumamente pequeñas de hormonas en la sangre o leche de los animales. La técnica requiere la toma de muestras de sangre o leche, las que se introducen en un tubo que se ha recubierto previamente con un anticuerpo de la hormona, agregándose luego una hormona marcada radiactivamente. El tubo se centrifuga, se retira el contenido líquido y se hace el recuento de la radiactividad que ha quedado en el tubo. La concentración de la hormona puede entonces determinarse con referencia a los recuentos de radiactividad en muestras con cantidades conocidas de esa hormona.

El RIA de hormonas reproductivas se utiliza actualmente con muchas finalidades diferentes. En los programas de inseminación artificial el RIA se emplea para comprobar si los animales se inseminan en el momento correcto de sus ciclos reproductivos, si el inseminador realiza adecuadamente la inseminación y determinar en una etapa muy temprana si la hembra ha quedado preñada después de la inseminación. Esto puede permitir al agricultor un ahorro importante de dinero, pues si se descubre que la hembra no está preñada, será preciso fecundarla nuevamente en el momento adecuado del próximo ciclo reproductivo, pues de otro modo se produciría un gran retardo entre los nacimientos de las sucesivas crías. El RIA se usa también en los programas de transferencia de embriones para comprobar que el animal



El mejoramiento de la alimentación y la gestión eleva la eficacia reproductiva de los búfalos.

receptor del embrión se encuentre en el mismo ciclo reproductivo que el donante, y se utiliza para desarrollar y verificar las formas de tratar los problemas de la reproducción en animales a los que se han administrado hormonas y otras drogas.

Todas estas aplicaciones son importantes en los programas de cría de animales de "alta tecnología" que se ponen en práctica actualmente en el mundo industrializado, pero el RIA de hormonas es también muy importante en los países en desarrollo. En estos países su utilización principal es en las investigaciones para vigilar la eficiencia reproductiva de los animales e individualizar y eliminar las prácticas ganaderas causantes del bajo rendimiento que en ese plano se observa a menudo en esos países.

Por ejemplo, al permitirse en algunos países que el ternero mame de su madre se interrumpe la actividad de los ovarios de la madre durante períodos prolongados después del parto. Por lo tanto, la hembra no puede quedar nuevamente preñada durante muchos meses y no puede producir otro ternero ni tener otra lactación para producir leche. El RIA se ha utilizado para examinar este fenómeno y desarrollar regímenes de terneros amamantados que permitan que los ovarios de la vaca reinicien su actividad rápidamente después del parto sin afectar con ello negativamente a la salud del ternero.

En el mismo sentido, el RIA puede utilizarse para desarrollar criterios de alimentación que permitan a los animales reproducirse más eficazmente en zonas en que la cantidad o calidad del alimento disponible es escasa, e incluso individualizar las razas y tipos de animales que se reproducen mejor que otros en un medio ambiente adverso. Por lo tanto, existen muchas formas en que los radisótopos, en este caso en la forma de RIA, se aplican para mejorar la reproducción del ganado y los métodos de cría en todo el mundo.

Por último, las radiaciones y los radisótopos se usan ampliamente en sanidad animal. Al eliminar la capacidad de causar enfermedades de algunos parásitos, las radiaciones ionizantes de fuentes de cobalto 60 o rayos X se utilizan para producir

Vacunas por la técnica de atenuación, que es segura y económica. En Europa, por ejemplo, se venden millones de dosis de vacunas comerciales basadas en organismos nemátodos irradiados que atacan las vías respiratorias con el fin de proteger a los terneros y corderos nuevos contra una enfermedad debilitadora llamada bronquitis parasitaria, causada por la presencia de gusanos en los pulmones. En solo el Reino Unido, esta vacuna ahorra a los ganaderos más de 10 millones de dólares al año al impedir el desarrollo de los parásitos en los pulmones, protegiendo así a los animales contra la pérdida de peso o muerte que acarrea normalmente esta infección.

El otro campo importante en la esfera de la sanidad animal en que el uso de radisótopos tiene un gran efecto es el desarrollo de análisis serológicos para diagnosticar enfermedades. Es sumamente importante poder diagnosticar adecuadamente las enfermedades para determinar la droga o vacuna con que debe tratarse al animal. A su vez, esto mejora la relación costo-eficacia de los programas tendientes al control o erradicación de las enfermedades. Para obtener una elevada especificidad y, en algunos casos, la alta sensibilidad necesaria para diferenciar una enfermedad de otra, se requieren métodos bioquímicos e inmunológicos refinados a fin de producir los reactivos que componen los análisis de diagnóstico.

Estos métodos descansan en gran medida en los radisótopos utilizados para marcar el organismo propiamente tal o anticuerpos que se unirán al organismo.

De esta manera, la parte del organismo o los anticuerpos específicos necesarios para fines de diagnóstico pueden individualizarse y purificarse.

Habiendo individualizado y purificado esos materiales, la presencia de los organismos causantes de las enfermedades en la sangre de los animales puede por lo tanto detectarse añadiendo suero sanguíneo a un tubo revestido con uno de esos materiales. Se realiza entonces un ensayo de radioinmunoanálisis similar al descrito anteriormente para la medición de hormonas, usando un análisis radisotópico (RIA) o en su lugar un ensayo con enzimas (ELISA) para medir la unión del agente de la enfermedad al anticuerpo y, por lo tanto, diagnosticar la enfermedad.

Los éxitos alcanzados por las técnicas nucleares en producción animal—algunas de estas técnicas han sido concebidas y aplicadas por el OIEA—son los siguientes:

- En Asia fue posible aumentar la producción de búfalos añadiendo algunos kilos de material de desecho barato a su alimento. Gracias a ello se necesitó casi la sexta parte del pasto que hacía falta anteriormente para aumentar en una tonelada el peso del cuerpo de un animal.

- En Africa, los métodos nucleares están ayudando a combatir dos enfermedades devastadoras, la peste bovina y la tripanosomiasis, permitiendo así un aumento de la producción ani-



mal y de los ingresos de los pequeños agricultores.

- En Sudamérica, los métodos isotópicos han ayudado a preservar las

poblaciones de alpacas y vicuñas en los Andes, lo que ha contribuido a mejorar la economía y el bienestar de los agricultores de bajos ingresos en las tierras altas.

Lucha contra los insectos

Los insectos compiten con el hombre por la obtención de alimentos y fibra y amenazan la salud de los animales y los seres humanos. Al luchar contra los insectos con productos químicos, hemos creado a veces problemas de contaminación ambiental y de presencia de residuos tóxicos en nuestros alimentos. Además, muchos insectos han desarrollado resistencia a los insecticidas, lo que a menudo se traduce en la utilización de cantidades cada vez mayores de estos productos. Por lo tanto, se necesitan nuevos criterios de lucha contra los insectos.

Una forma de controlar o erradicar los insectos sin emplear productos químicos es la técnica de los insectos estériles (TIE). Al aplicar este enfoque, los insectos se producen en grandes plantas de cría, procediéndose a esterilizarlos sexualmente con radiaciones gamma y a liberarlos entre la población nativa. Cuando los insectos estériles se acoplan con insectos silvestres no se producen crías. Este enfoque no solo es sano desde el punto de vista medioambiental, sino que a menudo constituye el

único medio práctico para erradicar un insecto.

Algunas veces la población nativa del insecto combatido se reduce primero con métodos de cultivo, biológicos o de productos químicos atractivos antes de soltar los insectos estériles. Entonces, cuando se sueltan los insectos estériles, la proporción entre éstos y los nativos es elevada y la probabilidad de acoplamiento de un insecto nativo con otro nativo es baja. Si aquella proporción es suficientemente alta en una situación de aislamiento, el insecto será erradicado de esa zona. La TIE es más eficaz cuando los insectos estériles pueden producirse en grandes cantidades y la población nativa es escasa y se encuentra aislada de otras zonas infestadas.

Este medio es ideal para erradicar infestaciones nuevas de insectos antes de que se extiendan a grandes zonas, pero también es eficaz en la lucha en zonas amplias contra poblaciones ya establecidas. Además, las zonas agrícolas libres de plagas pueden mantenerse así con el uso de la TIE.

Plagas de insectos y TIE

Insecto	Utilización en el pasado	Utilización actual
Gusano barrenador	Curazao, EE.UU., México, Puerto Rico, Islas Vírgenes (EE.UU.)	Guatemala Belice Libia
Mosca mediterránea de la fruta	Italia(e), Perú(e), México EE.UU. (introducciones accidentales)	Guatemala EE.UU. (introducciones accidentales)
Mosca del melón	Japón(e)	Japón
Mosca oriental de la fruta	Rota, Hawaie)	
Mosca de la cebolla	Países Bajos(e)	Países Bajos(control)
Mosca mexicana de la fruta	EE.UU./México(e)	EE.UU./México (cuarentena)
Mosca de la cereza	Suiza(e)	
Otras moscas de la fruta		Varios países(e)
Gusano rosado algodónero	EE.UU.(e)	EE.UU. (cuarentena)
Polilla de la manzana	Canadá(e), EE.UU.(e)	Canadá (control)
Polilla gitana	EE.UU.(e)	EE.UU.
Mosca tsé-tsé (4 especies)	Tanzania(e), Nigeria(e) Burkina Faso(e)	Nigeria
Gorgojo del tallo	EE.UU.(e)	
Mosca de las ovejas	Australia(e)	
Mosquito	El Salvador(e)	
Mosca de los establos	St.Croix, EE.UU.(e)	
Gusano del tabaco	St.Croix, EE.UU.(e)	

NOTA: El cuadro indica las plagas de insectos con respecto a las cuales se utiliza, se ha utilizado o se prepara la utilización de la TIE o un método de control genético conexo. El objetivo es la erradicación, a menos que se señale otra cosa. La (e) indica una prueba piloto experimental.



Mosca del gusano barrenador del Nuevo Mundo.

Para que un programa sea eficaz, la TIE debe aplicarse en toda una zona. La lucha contra los insectos decisivos en una zona sin empleo en masa de insecticidas es a menudo el enfoque de gestión de plagas más sano desde el punto de vista económico y ecológico. Generalmente ello comprende la utilización integrada de diversos métodos de lucha contra los insectos, entre los cuales la TIE es a menudo un componente.

La División Mixta FAO/OIEA ejerce el liderazgo internacional en el desarrollo y aplicación de la TIE en la lucha contra los insectos y por su erradicación.

Gusano barrenador del Nuevo Mundo

El primer insecto erradicado exitosamente en una zona con empleo de la TIE fue el gusano barrenador, una plaga devastadora de los animales domésticos y silvestres, en la isla de Curacao, en 1954.

Posteriormente, el gusano barrenador fue erradicado de los Estados Unidos y luego de México. Los rancheros de Texas estiman que el programa les reportó un ahorro anual de 100 millones de dólares de los Estados Unidos. En 1989, el gusano barrenador del Nuevo Mundo apareció en el norte de África. Esta fue la primera observación de una implantación de este insecto fuera de las Américas. La TIE es la tecnología que lógicamente se aplica en la actualidad para erradicar este insecto introducido recientemente.

Moscas de la fruta

Gran parte de la fruta producida en el mundo es infestada por moscas de la fruta. Estas moscas no solo dañan la fruta, sino que impiden a los países infestados exportar sus frutas a países donde tales moscas no existen. Gracias a la TIE, la mosca mediterránea de la fruta (moscamed) fue erradicada de México y la mosca del melón, de Okinawa. Además, varias interrupciones de moscas de la fruta se han erradicado con empleo de la TIE en los Estados Unidos. La División Mixta FAO/OIEA realiza labores de investigación para reducir los costos de la producción de moscamed estériles. Además, se ha desarrollado una cepa sexada genéticamente que permite soltar únicamente machos. Esto aumenta la eficacia de la TIE y evita a la fruta los daños de la "picada" de las hembras estériles.

Mosca tsé-tsé

Las moscas tsé-tsé transmiten el nagana al ganado y la enfermedad del sueño a

los humanos. Estos insectos han impedido los asentamientos y el desarrollo en amplias zonas de África. Con empleo de la TIE, una especie de la mosca tsé-tsé se ha erradicado en ciertas partes de Nigeria y tres especies, de algunas partes de Burkina Faso. La División Mixta FAO/OIEA ha desarrollado una nueva tecnología de cría de la mosca tsé-tsé que permite la producción en masa de moscas en los países africanos para su empleo práctico en la TIE.

Esterilidad F-1

Ciertos insectos, como las polillas, son afectados de manera contundente por las dosis de radiaciones esterilizantes. Los científicos han observado que algunos de esos insectos pueden irradiarse con dosis bajas, lo que no los esteriliza totalmente, pero determina que sus descendientes sean estériles. Esta esterilidad heredada o F-1

constituye un medio eficaz para luchar contra algunos insectos. Las infestaciones de la polilla gitana se han erradicado en varios lugares aislados de los Estados Unidos con empleo de esta técnica.

Otra tecnología

Los isótopos se usan habitualmente para estudiar el movimiento, alimentación, comportamiento y metabolismo de los insectos. También constituyen instrumentos de uso habitual en biotecnología, incluida la biología molecular.

La genética corriente de los insectos se ha utilizado para estudiar la compatibilidad de diversas variedades de insectos y la hibridación de las especies conexas. En el futuro, la ingeniería genética se empleará para desarrollar variedades de insectos especialmente adecuadas para la TIE.

Conservación de alimentos

Una de las grandes prioridades en el mundo es contar con suficientes alimentos sanos para toda la población. Se realizan grandes esfuerzos para fertilizar la tierra, desarrollar mutantes de cultivos básicos adecuados, ofrecer una infraestructura adaptada al país y, en general, crear las circunstancias apropiadas para una buena cosecha. Después de eso, hemos de hacer también esfuerzos para asegurarnos de que los alimentos cultivados con

esmero han de conservarse y protegerse contra contaminaciones y plagas, lo que constituye una importante prioridad para el mundo en desarrollo.

Durante miles de años hemos convivido con este problema, de manera que los métodos de conservación han evolucionado a partir del desecado al sol de los días más lejanos, a la saladura, el ahumado, el envasado, la congelación, el calentamiento



Ejemplos de las utilizaciones de alimentos y artículos irradiados aprobadas en el mundo

País **Producto**

- Argentina* • Especias, espinacas, polvo de cacao
- Bangladesh* • Papas, cebollas, pescado desecado, legumbres, mariscos congelados, ancas de rana
- Belgica* • Especias, verduras deshidratadas, alimentos congelados, incluidos mariscos
- Brasil* • Especias, verduras deshidratadas
- Canadá* • Especias, papas, cebollas
- Chile* • Especias, verduras deshidratadas, cebollas, papas, pollos
- China* • Papas, ajos, manzanas, especias, cebollas, salchicha china, vino chino
- Cuba* • Papas, cebollas, granos de cacao
- Dinamarca* • Especias
- Finlandia* • Especias
- Francia* • Especias, aiños vegetales, pollos (pollo deshuesado congelado)
- Hungría* • Especias, cebollas, corchos para vino
- India* • Especias, cebollas, papas
- Indonesia* • Especias, tubérculos y raíces
- Israel* • Especias, papas, cebollas, granos
- Japón* • Papas
- República de Corea* • Polvo de ajo, papas, cebollas
- Países Bajos* • Especias, productos congelados, pollos, verduras deshidratadas, arroz, polvo de huevo, materiales de embalaje
- Noruega* • Especias
- Pakistán* • Papas, cebollas, ajos, especias
- Sudáfrica* • Papas, cebollas, frutas, especias, carne, pescado, pollos, productos procesados, verduras
- España* • Papas, cebollas
- Siria* • Papas, cebollas, pollos, frutas, especias
- Tailandia* • Cebollas, salchichas de cerdo fermentado, papas
- Unión Soviética* • Papas, cebollas, cereales, frutas y verduras frescas y desecadas, carne y productos cárnicos, aves, granos
- Estados Unidos* • Especias, aves, frutas
- Yugoslavia* • Especias, cereales, carne, aves

y la adición de productos químicos. El último método que se agrega a la lista es la irradiación, vale decir, la exposición de los alimentos a radiaciones ionizantes administradas en cantidades cuidadosamente controladas.

A pesar de constituir un proceso comercial relativamente nuevo, la irradiación de alimentos se ha estudiado más profundamente que ninguna otra tecnología de los alimentos. Más de 40 años de investigaciones han demostrado de forma definitiva que el consumo de alimentos irradiados no tiene consecuencias negativas. En realidad, en lo que respecta a

muchos alimentos se ha demostrado que su conservación por irradiación es indiscutiblemente el mejor método.

Las autoridades internacionales competentes han aprobado todas las normas y regulaciones necesarias para la irradiación de determinados alimentos, pero sigue existiendo cierta reticencia del público frente a esos alimentos. Se trata seguramente de una situación transitoria, y es innegable que en el futuro la irradiación de alimentos se convertirá en un factor sumamente benéfico para la humanidad, y la conservación de alimentos por irradiación adquirirá máxima importancia para los

Aplicaciones generales de la irradiación de alimentos

Finalidad	Dosis absorbida (kGy)	Productos
Dosis baja (hasta 1 kGy) Inhibición de brotes Desinfestación con relación a insectos y parásitos	0,05-0,15 0,15-0,50	Papas, cebollas, ajos, raíz de jengibre Cereales y legumbres, frutas frescas y desecadas, carne y pescado desecados, cerdo fresco Frutas y verduras frescas
Retardo de la maduración	0,50-1,0	Pescado fresco, fresas, etc.
Dosis media (1-10 kGy) Prolongación del periodo de conservación Eliminación de la putrefacción y de los microorganismos patógenos Mejoramiento de las cualidades tecnológicas de los alimentos	1,50-3,0 2,0-7,0 2,0-7,0	Mariscos frescos y congelados, aves y carne Uvas (aumento del jugo), verduras deshidratadas (reducción del tiempo de cocción)
Dosis alta (10-50 kGy) Descontaminación de aditivos e ingredientes de alimentos Esterilización comercial (en combinación con calor suave)	0-50 30-50	Espicias, preparados de enzimas, chicle natural, etc. Carne, aves, mariscos, alimentos preparados, dietas hospitalarias

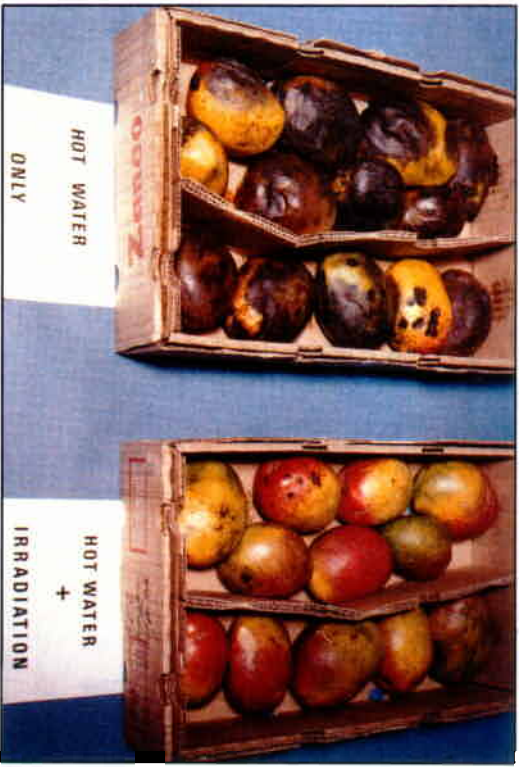


- reducir las pérdidas durante el almacenamiento o transporte; y
- desinfectar productos almacenados, como granos, alubias o frijoles, frutas desecadas y pescado desecado.

Desde el punto de vista económico, una de las aplicaciones más importantes se traduce en la prolongación del período de conservación, lo que tiene sumo valor para los países de clima cálido como muchos de los países en desarrollo. Lo mismo es cierto para la reducción de las pérdidas durante el almacenamiento, que son muy importantes en algunas zonas. Aunque resulte difícil de creer, algunos países registran pérdidas posteriores a la cosecha de un 40 a un 50% debidas a la infestación de los alimentos básicos, como granos y el ñame o batata. Por eso, cuando no se les irradiaba, en su mayoría los alimentos básicos almacenados se fumigan con productos químicos.

En una conferencia internacional celebrada en Ginebra en diciembre de 1988 sobre "Aceptación, control y comercio de alimentos irradiados" se aprobó un documento que describe las ventajas de la irradiación de alimentos y recomienda armonizar los procedimientos nacionales para facilitar el comercio internacional de esos productos.

En consecuencia, parecería que finalmente se han removido todos los obstáculos prácticos que podían entorpecer el rápido desarrollo de esta aplicación de las radiaciones que ha de resultar sumamente provechosa para la humanidad en un futuro muy cercano.



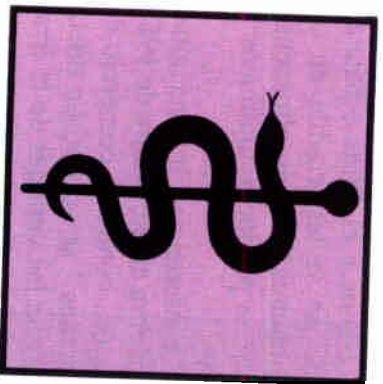
La irradiación de alimentos permite conservar frutas como los mangos.

productos alimenticios de los países en desarrollo.

¿Qué ventajas tiene la utilización de la irradiación? Puede matar organismos viables y microorganismos patógenos específicos que no generan esporas, como la salmonela, o puede interferir los procesos fisiológicos, siendo posible utilizarla por ejemplo para inhibir los brotes de las papas o prolongar el período de conservación de la fruta fresca. En síntesis, la irradiación de alimentos constituye una opción, y en algunos casos el único método para:

- eliminar muchos riesgos para la salud provenientes de los alimentos;
- mejorar la calidad de los productos frescos;
- lograr que la producción y la distribución de alimentos sean más económicos;

Aplicaciones relacionadas con la salud humana

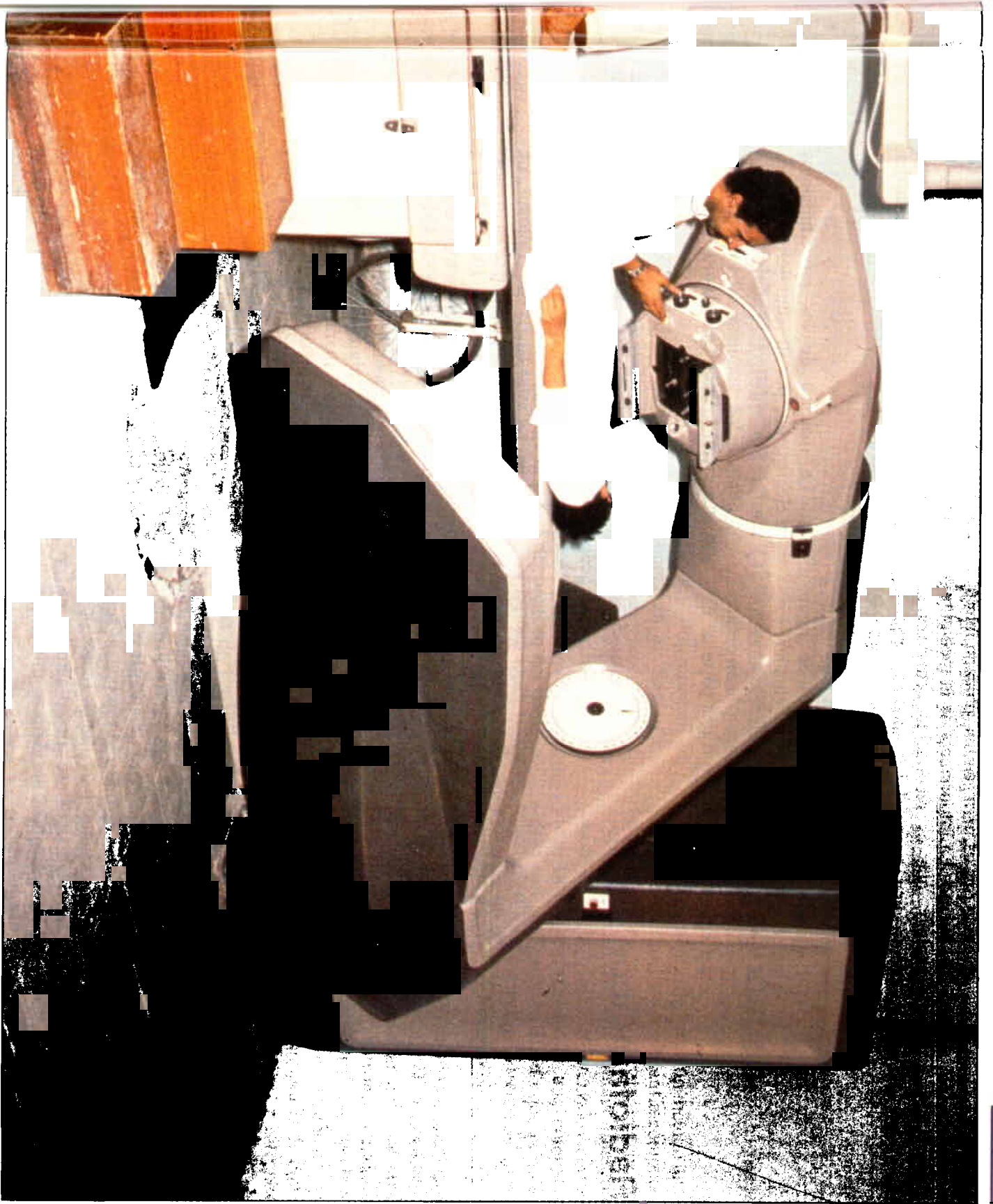


Las aplicaciones de radiaciones y radionucleidos relacionadas con la salud humana surgieron rápidamente después del descubrimiento de los rayos Röntgen o X. Se desarrollaron técnicas que permiten producir radionucleidos específicos en cantidades convenientes. Actualmente, es casi imposible que exista un hospital de un país industrializado que no tenga un departamento de radiología y un departamento de medicina nuclear, o que no utilice una amplia serie de métodos radioquímicos de laboratorio para el diagnóstico y la investigación de una gran variedad de enfermedades.

Medicina nuclear

En medicina nuclear, un radionucleido —en una forma química escogida cuidadosamente— se administra a un paciente para investigar un fenómeno fisiológico específico por medio de un detector especial, a





Comisión de Energía Atómica del Pakistán.



menudo una cámara gamma, ubicado fuera del cuerpo. La importancia de la medicina nuclear, que es reconocida actualmente como una especialidad médica propiamente tal, puede apreciarse por el hecho de que uno de cada tres pacientes que acuden a un hospital importante en un país industrializado recibe los beneficios de algún tipo de procedimiento de medicina nuclear. Esos procedimientos pueden, como los rayos X, ofrecernos la imagen de un órgano determinado del cuerpo o una parte de él.

La diferencia esencial consiste en que en medicina nuclear la imagen obtenida ofrece una medida de la actividad de una determinada función fisiológica o bioquímica del organismo.

La mayoría de los procedimientos nucleares son, por su naturaleza, de diagnóstico. Sin embargo, en algunos casos los radionucleidos administrados al paciente constituyen medios terapéuticos valiosos.


Radiofármacos

A fin de poder investigar en el cuerpo un proceso biológico, o el funcionamiento de un órgano, es necesario escoger cuidadosamente el radionucleido y la forma química en que ha de administrarse al paciente. Esas preparaciones de radionucleidos se llaman radiofármacos. Actualmente, con fines de diagnóstico se utilizan corrientemente de 100 a 300 radiofármacos, la mayoría de los cuales se venden comercialmente. Esos compuestos tienen en su mayoría carácter orgánico.

Para minimizar la dosis de radiación, por lo demás pequeña, que se administra al paciente en virtud de la utilización de radiofármacos para diagnóstico, se emplean cada vez más radisótopos de actividad baja o muy baja. Estos radisótopos de actividad baja se descomponen en elementos estables en algunos minutos o algunas horas.

Los radiofármacos de isótopos de actividad baja deben producirse en los hospitales donde se van a usar. Esto se hace a menudo "ordenando" el isótopo deseado de un padre radiactivo de mayor actividad. Este procedimiento es relativamente simple, pero a menudo es preciso efectuar posteriormente algunos procedimientos químicos rápidos para convertirlo en el radiofármaco requerido. Esta técnica se emplea ordinariamente en hospitales para investigaciones de diagnóstico del funcionamiento del hígado, cerebro, pulmones, corazón o riñones. Los radionucleidos de actividad baja como el indio 111, galio 67, galio 78, talio 201 y el tecnecio 99m, que es el que más se utiliza habitualmente, tienen amplias aplicaciones.

Actualmente se desarrollan las nuevas aplicaciones y nuevos radiofármacos a fin de ampliar la gama de procedimientos



ofrecidos a los médicos. Sin embargo, es preciso tener presente siempre que cualquier procedimiento de medicina nuclear in vivo representa una pequeña dosis de radiación para el paciente. Ello no sucede

cuando se utilizan procedimientos in vitro como radioinmunoanálisis (RIA) o análisis inmunoradiométrico para detectar y medir componentes químicos en los fluidos del cuerpo.

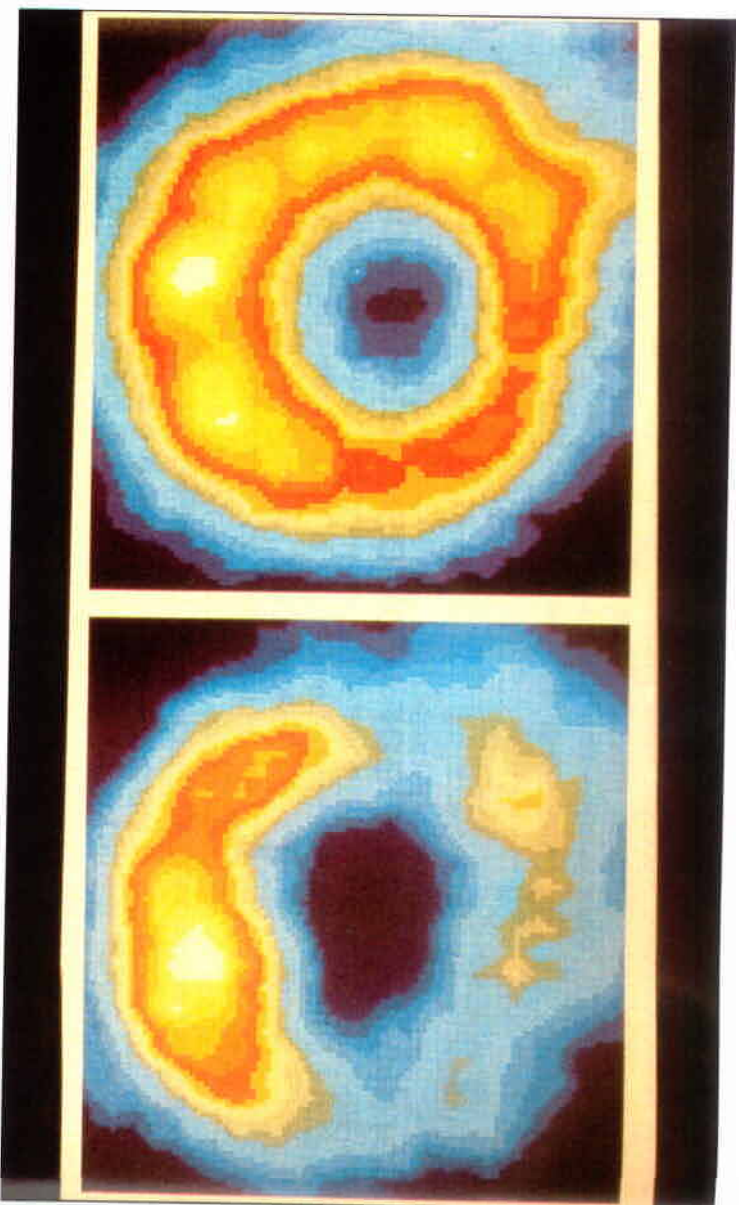
Cardiología nuclear y otros métodos de diagnóstico

Los radionucleidos desempeñan un importante papel en el diagnóstico cardiológico. Cuando un médico toma el pulso a un paciente, está tratando de medir el torrente sanguíneo, juzgar la condición de los vasos sanguíneos y evaluar indirectamente la fuerza del bombeo del corazón. Un trazador radiactivo en circulación puede, como un espía diminuto, recoger la misma clase de información desde dentro, averiguando por ejemplo el volumen que el trazador ocupa después de diluirse en el corazón, como si éste fuera una piscina de sangre, y los cambios que experimenta ese volumen cuando el corazón se contrae. Con ayuda de una computadora, esa información se obtiene cuantitativamente y secuencialmente en relación con el tiempo. Esta comprensión constituye el núcleo de la cardiología nuclear, una de las aplicaciones más útiles de la medicina nuclear moderna.

Cuando un paciente va al médico debido a un trastorno cardíaco, el doctor tiene muchas opciones que dependen de sus sospechas. Una forma más bien sofisticada de diagnóstico consiste en inyectar un compuesto de radiotecnecio en el torrente

sanguíneo, aplicando luego un método analítico conocido como tomografía computarizada de emisión de fotón simple (SPECT). Una cámara gamma rotatoria mide la radiactividad a intervalos cortos facilitando, con ayuda de una computadora, un cuadro reconstruido que permite al médico determinar qué porción del músculo cardíaco no tiene sangre.

Para evaluar el torrente sanguíneo que llega al corazón, así como el metabolismo del músculo, puede resultar muy útil otro método nuevo. Los positrones emitidos por algunos radionucleidos que se han incorporado a compuestos orgánicos se miden por medio de la tomografía de emisión de positrones (PET). Los positrones se producen cuando algunos isótopos de actividad baja se desintegran y, en virtud de la interacción, producen rayos gamma muy poderosos (511 keV) que salen en direcciones casi exactamente opuestas. Esos rayos pueden detectarse fácilmente con un dispositivo especial que tiene detectores ubicados en los lados opuestos del paciente. En los últimos años se ha desarrollado un detector mucho más pequeño y más sensible, lo que tornará este método




Imágenes del corazón.

aún más útil en el futuro. Como resultado de estas mediciones, es posible mostrar la distribución de los trazadores, o mejor dicho de los compuestos que contienen estos trazadores, lo que indicará cuán activos son esos tejidos desde el punto de vista metabólico.

Existen muchos otros emisores de positrones utilizables, como el rubidio 82, que se emplean para medir el torrente sanguíneo que va a dar al músculo cardíaco. Existen también otras técnicas, algunas de las cuales utilizan compuestos no radiactivos con el conocido método de la tomografía computadorizada por rayos X. Últimamente, para ciertas labores de diagnós-

tico se aplican incluso los métodos de producción de imágenes por resonancia magnética. Las técnicas de ultrasonido también se están ensayando para algunos exámenes cardíacos.

Estos ejemplos demuestran que gracias a los métodos sofisticados de emisión de radiaciones se pueden realizar diagnósticos que hasta hace poco eran imposibles. Alrededor del 3 por ciento de la población de Europa, o sea 6 millones de personas, padece enfermedades arteriales de carácter coronario. Un procedimiento ordinario podría abarcar a muchas de estas personas con exámenes tomográficos que empleen radiofármacos.



La producción nuclear de isótopos se utiliza cada vez más ampliamente, por ejemplo para el diagnóstico de enfermedades cerebrales. Las enfermedades cerebrovasculares tienen una incidencia más o menos equivalente a la de los trastornos cardíacos. En estos casos, se procede a marcar radiofármacos orgánicos con radionucleidos de flúor, oxígeno, nitrógeno o carbono a fin de producir imágenes. Los tumores pueden ubicarse con métodos similares, empleando radiofármacos simples o anticuerpos marcados con radionucleidos complejos.

Los métodos expuestos constituyen apenas una pequeña parte de las prácticas de diagnóstico médico en que los radioisótopos desempeñan un papel importante. Los expertos médicos han realizado estimaciones de lo que será en el futuro la medicina nuclear. Predicen que dentro de los próximos diez años la utilización general de técnicas nucleares en la profesión médica habrá de triplicarse a fin de hacer frente a todos los casos que prevén las proyecciones.

Métodos de diagnóstico in vitro

Todos los años se realizan numerosos análisis médicos —decenas o incluso cientos de millones— con fines de diagnóstico. Estos análisis son cada día más sofisticados, de manera que actualmente existen mejores posibilidades de hacer un diagnóstico a un paciente desde afuera que desde adentro. Se les denomina radioinmunoanálisis. Para realizarlos, un paciente no necesita entrar en contacto con la radiactividad, pues los análisis se efectúan en la sangre extraída del paciente.

Esos métodos se han refinado a tal punto que es posible actualmente detectar y observar ciertas enfermedades gracias a determinaciones extremadamente sensibles (10 a 100 millones de veces más sensibles

que con otros métodos) y que las mediciones obtenidas se refieren específicamente a una sola sustancia. De esta manera, es posible determinar la presencia de hormonas, vitaminas, enzimas y muchas drogas en la sangre o fluidos biológicos.

El OIEA ayuda a los países en desarrollo a introducir esas técnicas que tienen aplicaciones tan importantes como la detección y medición de la deficiencia de yodo, los trastornos de la nutrición y las infecciones microbiológicas. Las investigaciones coordinadas ayudan a los países en desarrollo a descubrir diversas enfermedades contagiosas. Nunca será excesiva la importancia que actualmente, y aún más en el futuro, se asigna a esos métodos de diagnóstico médico.

Empleo de radionucleidos para el tratamiento de enfermedades

Medicina nuclear terapéutica

Son relativamente pocas las situaciones en que la administración de un radiofármaco al paciente puede utilizarse para el tratamiento de una enfermedad. La más antigua y mejor conocida de esas aplicaciones es el tratamiento de la hiperactividad de la glándula tiroidea y de algunos tipos de cáncer tiroideo, mediante el suministro al paciente de una cantidad cuidadosamente calculada de yodo I31 en forma de bebida. Otros ejemplos son el empleo de estroncio 89 para paliar el dolor provocado por las metastasis óseas de carcinomas prostáticos, mamarios y de otros orígenes; o el tratamiento de feocromocitomas y otros tumores del tejido cromofínico con metayodo-bencil-guanidina marcado con yodo I31.

Para el futuro se ponen muchas esperanzas en el desarrollo de anticuerpos para tumores específicos que podrían emplearse para dirigir radionucleidos a los tumores y destruirlos.

Teleterapia

La teleterapia es un tratamiento en que la fuente de las radiaciones no está en contacto directo con el tumor objeto del tratamiento. Las radiaciones utilizadas

para el tratamiento pueden ser de diferentes tipos y energías, y originarse en diferentes fuentes. A menudo se utilizan fuentes radiactivas emisoras gamma, como el cobalto 60, debido a que son convenientes, no necesitan prácticamente mantenimiento y son emisoras gamma casi ideales. Muchas de esas fuentes se emplean para el tratamiento del cáncer. La teleterapia también puede administrarse con otras fuentes como los haces electrónicos o neutrónicos.

Braquiterapia

La braquiterapia es un tratamiento en que la fuente de radiaciones se halla en contacto directo con el tumor. Este método se emplea ampliamente para diversos casos médicos especiales.

Como el cáncer del cuello del útero es muy común en muchos países en desarrollo, la braquiterapia se ha convertido en el método de tratamiento preferido debido a que muchos pacientes pueden recibir un tratamiento relativamente barato y eficaz. Uno de los primeros grandes proyectos de este tipo en un país en desarrollo se organizó en Egipto con la cooperación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y del OIEA. Más de 100 becarios de diversos países africanos aprendieron esta técnica e introdujeron la braquiterapia en los hospitales de sus países de origen.



Sin embargo, este método solo puede aplicarse cuando el tumor no ha sobrepasado unos pocos centímetros. Afortunadamente este el caso de muchos pacientes. Sin embargo, cuando el tumor es de mayor tamaño, se precisa aplicar la teleterapia, que es más costosa.

La utilidad de la braquiterapia para el tratamiento del cáncer puede comprenderse si se tiene en cuenta que aproximadamente una cuarta parte de todos los casos de cáncer en Nigeria son susceptibles de recibir ese tratamiento. Con una aplicación relativamente barata y sencilla de la radiobraquiterapia, no solo es posible tratar, sino también, especialmente en los casos tempranos, curar a muchos pacientes.



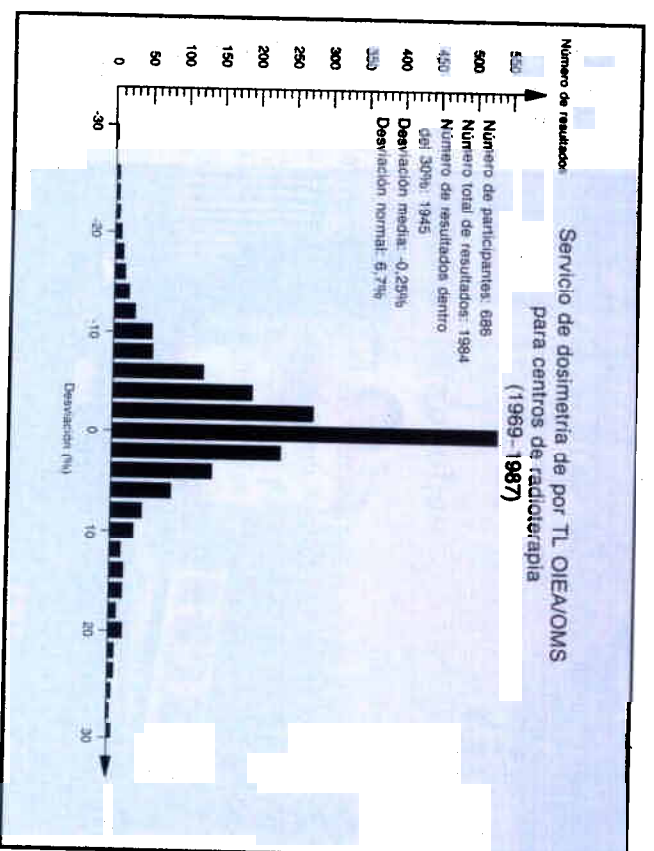
La braquiterapia se utiliza para tratar el cáncer del cuello del útero.

Dosimetría

Aunque la dosimetría no es una aplicación isotópica, la determinación exacta de las dosis de radiaciones tiene primordial importancia para todas las aplicaciones radiológicas; en las aplicaciones terapéuticas, su importancia puede ser de vida o muerte. Por esta razón, se han reali-

zando grandes esfuerzos para garantizar que las dosis de radiaciones administradas a los pacientes se ajusten lo más estrechamente posible a las dosis prescritas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el OIEA, conjuntamente con



muchos laboratorios nacionales de calibración y con la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, han desplegado en los últimos 20 años una grande y exitosa actividad para garantizar que los pacientes que padecen cáncer reciban el tratamiento radiológico correcto cuando se utiliza la unidad terapéutica de cobalto 60 normal. Con este fin, se han establecido 63 laboratorios secundarios de calibración dosimétrica, de los cuales más de la mitad se hallan en países en desarrollo y abarcan a unos 700 centros de radioterapia. Como una dosimetría exacta es un requisito previo de la radioterapia, todos los laboratorios encargados de la dosimetría deben realizar frecuentes intercomparaciones con uno de los laboratorios primarios de calibración dosimétrica. La importancia adquirida por la radioterapia se debe a que

en el mundo aumenta el número de casos de cáncer; se estima que en algunos países entre un 20 y un 25% de los habitantes han de contraer esta enfermedad.

En los países industrializados, aproximadamente la mitad de los pacientes de cáncer reciben tratamiento con radiaciones. Gracias a los ingentes esfuerzos que han realizado fundamentalmente el OIEA y la OMS, se han alcanzado importantes resultados. En un 70% de todos los hospitales que participaron recientemente en una evaluación, las desviaciones medias de sus mediciones de dosis de radiaciones se redujeron a +5%; a la vez, los demás centros están mejorando sus mediciones.

Dosis de radiaciones mucho más altas se utilizan para ciertas aplicaciones industriales, como la esterilización de productos médicos y la vulcanización del caucho, así como la conservación de alimentos. Para garantizar la dosis prescrita se utilizan técnicas desarrolladas últimamente. Este servicio del OIEA también se ofrece a través de los laboratorios secundarios de calibración dosimétrica.

Además, ambos servicios cuentan con un vasto programa que incluye la calibra-



ción de todos los instrumentos de los laboratorios de los participantes, trátese de

instrumentos para protección radiológica o para la medición de dosis altas.

Biología radiológica

Los productos médicos, como vestimenta quirúrgica, suturas, catéteres y jeringas, son generalmente esterilizados por el fabricante. Muchos de esos productos, que comprenden materiales sensibles al calor, como las bases de plástico, no pueden esterilizarse con vapor o calor seco. La esterilización con gas de óxido de etileno u otros productos químicos puede introducir residuos indeseables que entrañen un peligro para la salud. Para esos productos, se ha demostrado que la este-

rilización con rayos gamma de cobalto 60 es altamente eficaz y de bajo costo.

Las implantaciones de injertos de tejidos biológicos, como hueso, nervios, fascia, dura, recubrimientos de corion amniota para quemaduras, también se han esterilizado exitosamente con radiaciones gamma, con lo que su utilización en la práctica clínica de muchos países en desarrollo ha aumentado.

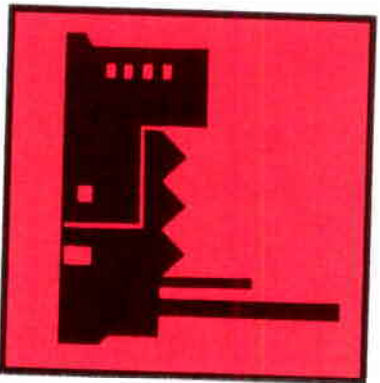
Nutrición

En la última década se han descubierto varias aplicaciones nuevas importantes para las técnicas nucleares en las investigaciones relativas a la nutrición humana. Entre los temas de actual interés se cuenta la adaptación del gasto de energía, cuestión importante para las regiones en desarrollo y que gira en torno a si los seres humanos pueden adaptarse metabólicamente o por otro medio a niveles bajos de ingestión energética. Otro tema de actualidad es la terapia de dieta óptima con empleo de alimentos locales para el tratamiento de la enfermedad de debilitación en los niños (a menudo inducida por la diarrea crónica) y de enfermedades infecciosas como la hepa-

titis viral. Los trazadores de isótopos estables de hidrógeno, carbono, nitrógeno y oxígeno ofrecen posibilidades únicas para estudiar esos problemas y, a la vez, son totalmente inocuos para la persona examinada debido a que no son radiactivos.

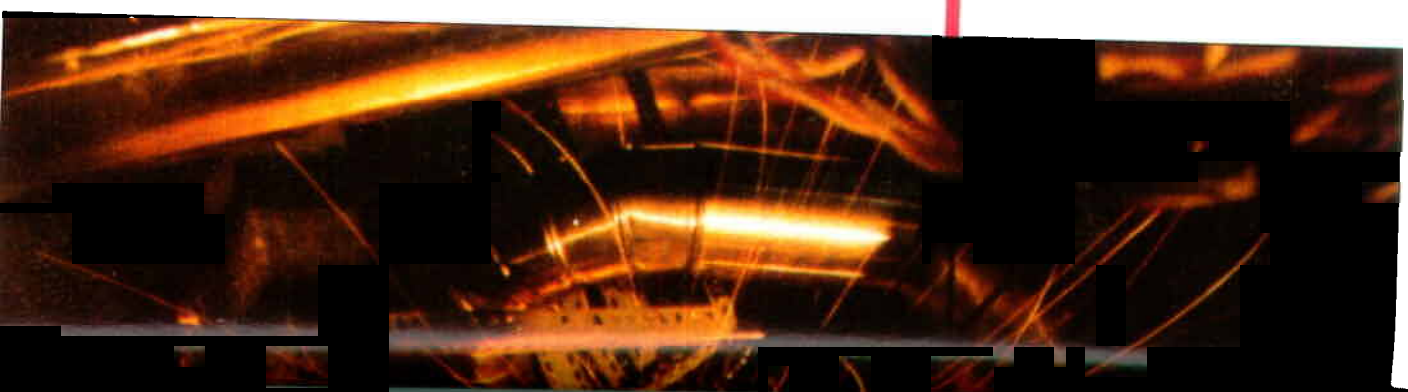
Las técnicas analíticas nucleares también se han utilizado para obtener información sobre las captaciones dietéticas de diferentes elementos en virtud de la dieta humana normal en diversos países del mundo. Esos estudios están aportando nuevos datos importantes para la elaboración de directrices dietéticas.

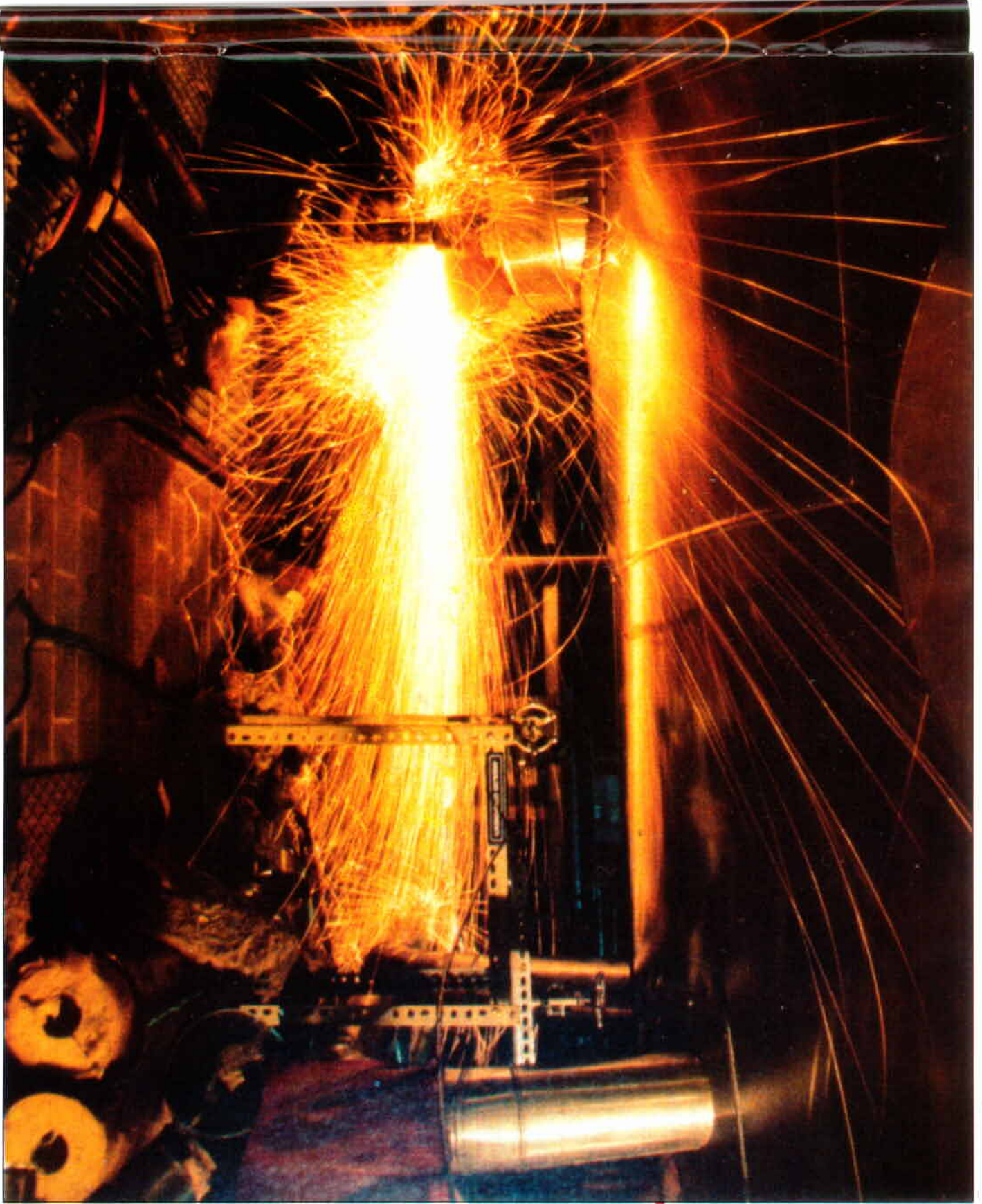
Industria



En los países adelantados son muchas las aplicaciones provechosas de las radiaciones y radisótopos que se hallan bien implantadas en la industria. La utilización de los radisótopos y radiaciones en la industria moderna de esos países es de gran importancia para el desarrollo y mejoramiento de los procesos, para la mediciones y la automatización y para el control de calidad. El crecimiento de este campo de aplicación de los radisótopos se inició muy temprano y ha sido rápido.

Actualmente, casi todas las ramas de la industria utilizan radisótopos y radiaciones en alguna forma. El empleo de medidores radisotópicos de espesor es un requisito previo para la completa automatización de las líneas de producción de alta velocidad, como la de hojas de acero o papel. Los experimentos con trazadores brindan información exacta sobre las condiciones de los equipos industriales costosos y permiten prolongar su vida útil.





Los radisótopos como trazadores

El hecho de que cantidades insignificantes de sustancias radiactivas puedan medirse rápidamente y con precisión hace que los radisótopos sean un medio importante para las investigaciones que tienen que ver con el transporte de materiales y que requieren información exacta sobre la distribución espacial y temporal de los materiales.

Las industrias que utilizan técnicas de trazadores abarcan una amplia gamma que comprende:

- carbón,
- petróleo, gas y petroquímica,
- cemento, vidrio, materiales de construcción,
- tratamiento de minerales,
- pulpa y papel,
- hierro y acero,
- metales no ferrosos, y
- automotriz.

Las esferas principales en que pueden utilizarse los radisótopos son las siguientes:

Investigación de procesos: tiempo de residencia, tasa de flujo, velocidad, elaboración de modelos, estimación de parámetros;

Mezcla: tiempo de mezcla, optimización del mezclador, rendimiento del mezclador;


Mantenimiento: descubrimiento de fugas, investigación de desperfectos, transporte de materiales;

Desgaste y corrosión: desgaste de motores, corrosión de equipos procesadores, estudios de lubricación.

En las industrias transformadoras, una de las principales aplicaciones de los trazadores radisotópicos tiene lugar en las investigaciones del tiempo de residencia que arrojan el conocimiento de importantes parámetros para la optimización, elaboración de modelos y automatización de la planta.

Una vez que se ha logrado un comportamiento óptimo de la planta, los experimentos con trazadores pueden realizarse para descubrir desviaciones de las condiciones óptimas. A menudo se descubren las razones de los desperfectos, como corrientes de desvío indeseadas u obstrucción de vasijas y cañerías que pueden causar alteraciones del flujo o la aparición de zonas muertas.

A menudo puede estudiarse la necesidad de una parada y, antes de realizarla, es posible obtener información decisiva para la labor de reparación. La industria petroquímica ofrece ejemplos típicos para la optimización de las columnas de fraccionamiento.



La mezcla es una etapa muy importante de algunos procesos. Requiere tiempo y consume energía, exige equipo caro. Por lo tanto, la optimización de los procesos de mezcla es un objetivo importante que puede lograrse con la aplicación de trazadores. Por ejemplo, se estudió el proceso de mezcla en un silo mezclador de 12 000 toneladas para molienda de cemento bruto y las pruebas permitieron realizar mejoramientos.

Un ejemplo de aplicación de trazadores radiisotópicos en la India muestra que, incluso con una infraestructura modesta, pueden realizarse investigaciones sumamente provechosas. Durante los ensayos previos a la puesta en marcha de un oleoducto para petróleo crudo de 140 km se descubrieron pequeñas filtraciones.

Se estimó que la presurización hidrostática y la inspección visual corrientes exigían demasiado tiempo y eran demasiado costosas. Se escogió finalmente la técnica de radiotrazadores para la detección y ubicación de las filtraciones. La técnica permitió encontrar cinco filtraciones y los 140 km del oleoducto se probaron en seis semanas. Esta iniciativa produjo frutos económicos que incluyeron el ahorro de 300 000 dólares de los Estados Unidos en costos de investigación y un ahorro de seis meses de tiempo de proyecto, lo que se tradujo en una producción adicional de 1,5 millones de toneladas en la refinería de petróleo. El equipo necesario para realizar la investigación se consiguió fácilmente en el país.

El estudio del desgaste de piezas de máquinas marcadas con radiisótopos es una etapa importante de la labor de desarrollo de la industria automotriz. El diseño de un nuevo motor exige la realización de cientos de pruebas de desgaste. Las pruebas pueden realizarse con empleo de la técnica de trazadores radiisotópicos. La técnica de activación de superficies, en virtud de la cual solo se activa un fino recubrimiento de la parte investigada bombardeándola con iones provenientes de un acelerador, garantiza una altísima sensibilidad y requiere únicamente pequeñas cantidades de material radiactivo.

Existen cifras impresionantes sobre ahorros en la industria automotriz logrados con el empleo de trazadores radiisotópicos para estudios de desgaste. Los informes señalan que al desarrollar un nuevo motor los costos de prueba de una nueva camisa de cilindros ascienden a unos 360 000 dólares de los Estados Unidos por cada camisa cuando se usan los métodos habituales para medir el desgaste. Al emplear técnicas de trazadores radiisotópicos, los costos se reducen a 48 800 dólares. Para una serie de mediciones de 10 modificaciones de la camisa, lo que es habitual en el proceso de desarrollo tecnológico, los ahorros realizados gracias a la aplicación de técnicas radiisotópicas serían de 3 112 000 dólares.

Del mismo modo pueden calcularse los ahorros para las pruebas de los asientos de cojinetes. Para una serie de pruebas de 20 modificaciones de asientos de cojinetes, los costos llegan a 3 500 000 dólares de los Estados Unidos. Al aplicarse técnicas radi-

sotópicas, los mismos resultados pueden obtenerse por solo 380 000 dólares, lo que permite ahorrar 3 120 000 dólares.

Además del ahorro, existen otras ventajas técnicas de gran importancia. Al utilizar radisótopos, toda la prueba puede realizarse sin desarmar el motor, lo que permite obtener resultados más exactos. Un factor muy importante del desarrollo tecnológico es el tiempo. Los resultados de

la serie de pruebas con empleo de radisótopos se obtienen generalmente dentro de seis meses; las pruebas corrientes pueden tardar hasta cinco años.

En general las técnicas de trazadores se utilizan en la industria para aumentar la eficiencia de los procesos, ahorrar tiempo, energía y materia prima, reducir la duración de las paradas de los equipos y facilitar la labor de desarrollo.

Instrumentos radisotópicos

La repercusión mayor de los radisótopos en la industria se ha derivado de la utilización de instrumentos radisotópicos. Gracias a las características de la radiación ionizante emitida por los radisótopos, la utilización de esta técnica permite conseguir ciertas ventajas únicas:

- Debido a que la radiación tiene la propiedad de penetrar en la materia, las mediciones pueden realizarse sin contacto físico directo del sensor con el material medido.
- Pueden realizarse mediciones en línea en material en movimiento; la medición es no destructiva.
- La estabilidad de la fuente es excelente y se requiere poco mantenimiento.
- Pueden alcanzarse excelentes tasas costo/beneficio.

Los instrumentos radisotópicos pasan a estar disponibles para toda clase de mediciones justo en los momentos en que exista una fuerte tendencia hacia la automatización de la industria. Los instrumentos radisotópicos pueden realizar ciertas mediciones, como la de la masa por superficie unitaria, que no es posible efectuar con otros equipos. Para otras mediciones, como las de nivel o distancia, actualmente existen también otros métodos disponibles.

Las sondas radisotópicas para medir la masa por superficie unitaria (a veces denominadas también "sondas de espesor") son inigualables en su rendimiento y se emplean en casi toda clase de industrias productoras de material laminado. En la industria del papel no solo se mide la masa por superficie unitaria de la hoja de papel con sondas radisotópicas, sino que también la producción del fieltro que se usa para



sostener la pulpa todavía muy húmeda en las primeras etapas de la producción del papel depende en gran medida del empleo de sondas radiisotópicas para garantizar su máxima uniformidad. Esto último es de importancia decisiva para las máquinas papeleras que funcionan a alta velocidad.

Del mismo modo, la producción de chapa de acero a la velocidad de las modernas máquinas laminadoras no se puede hacer sin medir exactamente el espesor durante toda la producción y sin un control automático del banco laminador.

En la industria del plástico, las sondas radiisotópicas se emplean para mejorar la uniformidad del producto y, por lo tanto, pueden hacerse ahorros en las materias primas y la energía que se necesita para la producción. Además, una mejor calidad del producto reduce los costos debidos a rechazos y quejas de los consumidores.

La tecnología de microprocesadores a influido mucho en el desarrollo de instrumentos radiisotópicos. La linearización de curvas complejas de calibración, la compensación por la desintegración de radisótopos y los controles importantes de calibración pueden realizarse fácilmente gracias a los microprocesadores. De este modo, los instrumentos radiisotópicos para el diseño moderno han agregado una nueva dimensión de fiabilidad y sofisticación a la probada excelencia de los instrumentos que emplean radisótopos.

Los densitómetros basados en la absorción de la radiación gamma se emplean allí donde es importante determinar

y controlar la densidad de líquidos, sólidos o suspensiones acuosas espesas. La industria del petróleo depende considerablemente de esos instrumentos. Otras aplicaciones se refieren a la manipulación de suspensiones espesas en el tratamiento de minerales o incluso en la industria alimentaria. Uno de los primeros usuarios de instrumentos radiisotópicos fue la industria del tabaco, en la que los densitómetros permiten garantizar la cantidad de tabaco de cada cigarrillo.

La industria del carbón ha recibido grandes beneficios de las aplicaciones de las técnicas nucleares. Las sondas nucleónicas y los analizadores en servicio se emplean ahora regularmente para vigilar y controlar el contenido de ceniza y humedad del carbón y el coque.

Las técnicas nucleares permiten la determinación en línea del sulfuro y el nitrógeno (causas de las lluvias ácidas) presentes en el carbón, lo que es importante para controlar la contaminación. Cientos de millones de toneladas de carbón se analizan anualmente con este método, en un proceso que ha pasado a ser corriente en la industria carbonífera.

Las radiaciones provenientes de las fuentes de radisótopos pueden utilizarse para excitar los rayos X característicos en muestras a las que se dirige el haz de radiaciones. La detección y análisis de esos rayos X ofrece información sobre la composición de la muestra. Esto abre campo al análisis por fluorescencia de rayos X de carácter industrial. Las aplicaciones más frecuentes se realizan en las industrias de

tratamiento de minerales y de revestimiento de metales.

Para el tratamiento de minerales se introduce una corriente de muestra del fango del mineral del suelo a una cabeza de medición que contiene la fuente de radisótopos y el detector de rayos X. Ello permite determinar la composición exacta del fango y controlar el funcionamiento de la planta para alcanzar un rendimiento óptimo. Pueden conseguirse grandes ahorros gracias a la mejor utilización del mineral bruto, de la energía y de los productos químicos empleados para el tratamiento. Aunque el costo de tal instrumento, incluida su instalación es de unos 200 000 dólares de los Estados Unidos, es posible generalmente recuperar su valor en un año de explotación.


amortizar en igual tiempo la inversión de la compra del medidor.

Para la producción de láminas y planchas cortadas de determinado largo, se adoptan disposiciones especiales para medir el largo exacto del material cuando pasa por el medidor. Para este tipo de mediciones se prefieren las técnicas de cuenta digital debido a que puede programarse el momento de la medición para ajustarse exactamente al estramiento deseado del material. Pueden darse los resultados correspondientes a cada lámina o placa o computarse un valor promedio por cada 10, 20 o 100 piezas.

Para el revestimiento de metales, tal como la galvanización o el revestimiento de lámina de acero con estaño, es preciso aplicar la cantidad exacta de revestimiento. Un exceso de material resulta sumamente caro; el revestimiento insuficiente dará lugar a quejas y a una corrosión temprana. Gracias al empleo de medidores radiotópicos, los procesos de revestimiento pueden controlarse para que se ciñan a límites muy estrictos, con lo cual puede ahorrarse hasta un 10% del material (cinc, estaño). A la vez, se reducen los rechazos debidos a la existencia de partes insuficientemente revestidas. No es raro conseguir ahorros de unos 200 000 dólares de los Estados Unidos al año, ahorros que permiten



Las técnicas nucleares con empleo de un explorador del carbón se utilizan para determinar las cantidades de sustancias contaminantes medioambientales presentes en el mineral.



Las mediciones de niveles pueden realizarse instalando una fuente y un detector en lados opuestos de un tanque o silo. Al llenarse, el material absorbe la radiación que de otra manera sería recibida por el detector. Esta técnica es sumamente útil cuando las circunstancias, como la presión y el calor, o la presencia de sustancias tóxicas, corrosivas o abrasivas dificultan o imposibilitan el acceso al estanque y la instalación de indicadores de nivel corrientes.

La medición de niveles con empleo de combinaciones móviles fuente-detector es un medio útil para la inspección de equipo de procesamiento, como los reactores químicos. El control de los niveles catalíticos en los reactores químicos o la vigilancia del funcionamiento de grandes columnas de fraccionamiento en las refinerías son dos aplicaciones utilizadas ampliamente. También en este caso los ahorros pueden alcanzar cantidades impresionantes si se toma en cuenta que los costos del tiempo de inactividad debido a las pérdidas de producción de una columna de destilación en una refinería de petróleo pueden alcanzar unos 300 000 dólares de los Estados Unidos al día.

Otra aplicación sumamente útil de los radisótopos que puede ahorrar costos considerables y evitar daños graves tiene lugar en las labores de control de calidad durante la construcción de puentes de hormigón pretensado. La resistencia de esos puentes se basa en los cables de arriostramiento que pasan a través de tubos de recubrimiento huecos situados en la sección inferior de la viga del puente. Si los cables de

arriostramiento no descansan en línea recta puede producirse un daño considerable al edificio cuando se les aplique la tensión necesaria. Es posible que ciertas partes de la losa de hormigón se desprendan debido a las fuerzas inesperadas, lo que no solo representa un grave peligro, sino que exige también una refacción completa de la estructura.

Una fuente radisotópica, introducida en los tubos de recubrimiento y arrastrada por su interior antes de meter los cables de arriostramiento, se utiliza para determinar la posición exacta de los tubos. Si se observa cualquier desviación de la posición predeterminedada, pueden adoptarse medidas correctoras antes de que se dañe el edificio. Esas desviaciones pueden producirse cuando los tubos de recubrimiento se sueltan de sus fijaciones debido a la fuerza del vaciado del hormigón en los moldes.

Las sondas neutrónicas de humedad son especialmente adecuadas para medir la humedad en un material a granel, como la arena. La utilización de esas sondas en la producción de vidrio y hormigón sigue aumentando. Los instrumentos portátiles son indispensables para controlar el espesor del material bituminoso en la construcción de caminos y represas. Una medición gamma de la densidad permite reunir la información necesaria sobre la calidad de la construcción. Una utilización corriente y nueva de las fuentes neutrónicas consiste en la detección rápida de explosivos ocultos. Se ha inventado un instrumento que puede detectar pequeñas cantidades de explosivos gracias a la medición de los rayos gamma emitidos cuando los átomos

de nitrógeno, presentes en todos los explosivos, capturan neutrones. Este detector está destinado a las inspecciones corrientes de equipajes en los aeropuertos.

Las técnicas nucleares, como la radiografía de sondeos y el análisis radiométrico in situ, desempeñan un importante y creciente papel en la exploración de petróleo, gas y minerales metálicos.

Radiografía gamma

La radiografía con empleo de rayos X o gamma se halla bien implantada y constituye una técnica no destructiva de control de calidad que se emplea corrientemente. Se aplica para verificar soldaduras, fundiciones, maquinaria ensamblada (como motores de chorro) y en cerámicas.

Los radisótopos como fuente de radiaciones ofrecen la ventaja de que no requieren energía eléctrica, de manera que pueden usarse fácilmente sobre el terreno. Además, se dispone de diferentes fuentes que abarcan desde una energía baja a una energía alta. El tamaño pequeño de las fuentes radisotópicas permite inspeccionar partes o maquinarias que no podrían examinarse con tubos de rayos X.


La aplicación más frecuente de la radiografía gamma tiene por objeto controlar las soldaduras de tuberías. La forma más adecuada consiste en poner la fuente dentro de la tubería, en su centro, y fijar la película al exterior de la soldadura. Para

controlar tuberías largas se utilizan sofisticados tractores de oruga autopropulsados que se desplazan dentro de la tubería. Estos dispositivos pueden situarse exactamente en el lugar que afuera se decida. Atendiendo a una orden, se produce la exposición. Entonces se ordena al tractor que se desplace hasta la próxima soldadura. Prácticamente todos los sistemas nuevos de gasoductos u oleoductos se controlan con equipo de este tipo.

La última novedad es el empleo de cámaras gamma para producción directa de imágenes, con lo que se puede obtener una imagen de rayos X o gamma directamente, sin película fotográfica. Se emplean computadoras para formar, integrar y mejorar la imagen con métodos de filtrado. Esta técnica parece promisoría. Tiene las ventajas de que la imagen se obtiene de inmediato o poco después de la exposición, en que no se necesita revelado químico y que se ahorra el gasto de película fotográfica.

Autorradiografía

La radiación emitida por los radisótopos presentes en un espécimen puede emplearse para crear una imagen fotográfica de su distribución. Esta técnica, denominada autorradiografía, se utiliza ampliamente en las investigaciones biológicas y metalúrgicas, y suele combinarse con investigaciones de trazadores. Ejemplos típicos a este respecto son la investigación de las zonas de solidificación en el vaciado



del acero, la observación de la segregación de algunos elementos de aleaciones y el estudio de la distribución de las películas lubricantes en los cojinetes.

En los últimos años se han logrado progresos hacia un mejoramiento de la definición de las imágenes y una reducción de las cantidades de sustancias radiactivas utilizadas.

Radiografía neutrónica

La radiografía neutrónica se basa en la atenuación de un haz de neutrones a causa de su interacción con átomos. Las diferencias de las secciones transversales, y por lo tanto la atenuación de los haces por los elementos, se marcan en las energías neutrónicas más bajas. Algunos elementos como hidrógeno, cadmio y boro muestran una fuerte atenuación. Por lo tanto, su presencia puede detectarse fácilmente con neutrones térmicos. Para la radiografía, los haces de neutrones pueden extraerse de reactores nucleares, fuentes radisotópicas de neutrones y aceleradores de partículas de gran producción.

Aplicaciones características de la radiografía neutrónica son las pruebas del combustible de los reactores nucleares y la detección de materiales hidrogenados. Esta técnica se emplea para descubrir las grietas en las hojas de las turbinas de gas y la corrosión en los componentes de los aviones, para controlar la calidad de las

cerámicas y para detectar cargas explosivas y la presencia de películas de lubricación en las cajas de cambios o los cojinetes.

Detectores de humo

Los dispositivos modernos de detección de humos instalados en muchas fábricas, tiendas, oficinas, hoteles y centros comerciales se basan en las radiaciones emitidas por una pequeña fuente radisotópica. La fuente produce una corriente constante en una celda que constituye una cámara iónica. Las partículas de humo que penetran en la celda por convección del aire ambiental captan los electrones y reducen la corriente de iones. Este cambio desencadena la alarma de humos. Estos dispositivos son sumamente sensibles y su fiabilidad no ha sido hasta ahora igualada. Si bien las fuentes emisoras alfa son las que se utilizan con más frecuencia, se ha informado del empleo del gas noble criptón 85. Su utilización ofrece la ventaja de que el gas inocuo desaparece rápidamente en caso de que se dañe el dispositivo.

Fuentes luminosas

Durante muchos años, las esferas luminosas de los relojes se fabricaban con inscripciones de radisótopos emisores alfa naturales, como el radio. Este radisótopo natural peligroso se ha sustituido total-

mente por radisótopos producidos artificialmente (tritio), lo que reduce a casi cero el peligro de radiaciones.

Las bombillas de vidrio llenas de pintura luminiscente y gas de tritio se utilizan como fuentes luminosas durables y a prueba de fallos para señales de emergencia en aviones y edificios públicos. Formas miniaturizadas de esas bombillas luminosas se emplean para iluminar las pantallas de cristal líquido de los relojes digitales.

Empleo de radiaciones en procesos industriales

Las radiaciones pueden inducir ciertas reacciones químicas convenientes. Por ejemplo, pueden emplearse para la fabricación de plásticos o el injerto de plástico en otros materiales. Algunos polímeros, cuya degradación es inducida por radiaciones, pueden concebirse de manera que se encorvan con el calor, lo que constituye una propiedad útil para ciertas aplicaciones en embalajes. Las industrias de la madera y la impresión emplean ampliamente las radiaciones de haces electrónicos para endurecer los revestimientos de superficies.

La producción de alambre y cable aislados con cloruro de polivinilo degradado con radiaciones aumenta sin cesar. Ese aislante es más resistente a la agresión térmica y química, presenta más resistencia al corte, y resulta más compacto. Los productos se emplean en la industria del automóvil, telecomunicaciones, industria aeroespacial y en aparatos electrodomésticos.

Entre otros productos importantes se comprenden la espuma de polietileno degradado con radiaciones, que se emplea en aislamientos térmicos, alfombras para el suelo, acolchado contra impactos, chalecos de flotación y compuestos de madera y plástico solidificados con irradiación gamma. Estos productos se han usado exitosamente para recubrir los pisos de lugares como grandes tiendas, aeropuertos, hoteles e iglesias donde adquieren importancia su excelente resistencia antiabrasiva, la belleza de su grano natural y los bajos costos de mantenimiento. Esta técnica también se emplea en la conservación de objetos de piedra y madera que forman parte de nuestra herencia cultural.

Varias empresas fabricantes de nuevos materiales están usando comercialmente el método de vulcanización de las hojas de caucho con radiaciones, en lugar de emplear sulfuros.

Recientemente salió al mercado un material "super absorbente" fabricado con técnicas de injerto por radiaciones. El material es capaz de absorber y retener grandes cantidades de líquido. Entre los productos fabricados con ese material se cuentan pañales desechables, tampones y elementos para refrescar el aire.

Las radiaciones han comenzado a utilizarse para descomponer desechos sépticos o venenosos. Algunas ciudades irradian los residuos humanos. Las radiaciones vienen a reemplazar la adición, que de otra manera sería necesaria, de productos químicos como el cloro, que es un veneno.



El tratamiento con radiaciones tiene un gran futuro en una nueva esfera de aplicación que consiste en la inmovilización radiológica de materiales bioactivos tales como drogas, enzimas, antígenos y anticuerpos en materiales polímeros. Esa inmovilización garantiza una mayor estabilidad y más prolongada conservación de las moléculas biológicas sensibles y ofrece la posibilidad de producir sistemas de administración lenta y sostenida de drogas para la terapia controlada y prolongada de muchas enfermedades.

Tratamiento con haces de electrones

Existe un nuevo adelanto en el tratamiento con radiaciones que parece muy prometedor para reducir las consecuencias medioambientales y sanitarias del empleo en gran escala de combustibles fósiles.

Se ha determinado que la emisión en la atmósfera de SO_2 y NO_x provenientes de las calderas a carbón o petróleo de las centrales eléctricas e instalaciones industriales constituye una de las fuentes principales de la contaminación medioambiental. Esas emisiones han contribuido de manera importante a problemas medioambientales como el "efecto de invernadero" y las lluvias ácidas.

Las técnicas corrientes con empleo de equipos conocidos como lavadoras retiran eficientemente el SO_2 de los gases de chimenea. Aunque esas técnicas ayudan a encarar el problema, algunos procesos

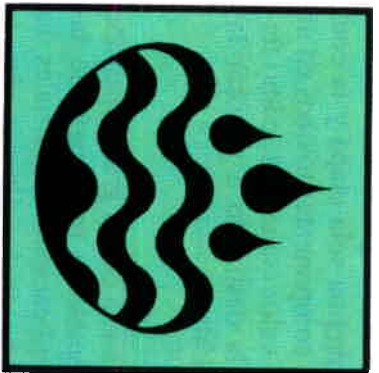
generan subproductos sin valor comercial y subproductos que plantean nuevos problemas de evacuación de desechos. Hasta ahora no se han desarrollado métodos químicos fiables para remover simultáneamente los gases de SO_2 y NO_x en un proceso de una sola etapa.

El tratamiento de los gases de chimenea con haces electrónicos ha demostrado la posibilidad de mejorar la calidad del aire y eliminar el problema de las lluvias ácidas mediante una remoción eficaz del SO_2 y el NO_x contenidos en los gases de chimenea en un proceso de una sola etapa y la conversión de esos componentes tóxicos en un subproducto de valor comercial, como fertilizante agrícola destinado a mejorar las condiciones del suelo.

En consonancia con la gran expansión de la utilización de la tecnología de las radiaciones en aplicaciones industriales, ha aumentado mucho en los últimos años la fiabilidad de las instalaciones radiológicas que utilizan fuentes como el cobalto 60 y los aceleradores de haces electrónicos.

La aplicación de las radiaciones e isótopos en la industria es un componente importante del programa del OIEA. Mediante proyectos de cooperación técnica, el Organismo facilita a los Estados Miembros en desarrollo asesoramiento de expertos, equipo y capacitación. En Asia sudoriental y América Latina se han establecido proyectos regionales multinacionales sobre aplicaciones nucleares de carácter industrial.

Hidrología




Antes de que se utilizaran los isótopos y los instrumentos que permiten medir con exactitud los núcleos radiactivos y estables, era muy difícil, y a veces imposible, resolver muchos problemas hidrológicos esenciales para la planificación agrícola, industrial y habitacional.

La hidrología es un campo en que los isótopos pueden desempeñar un papel de vanguardia en relación con muchas actividades de investigación y muchas aplicaciones. Numerosos son en este campo los problemas fundamentales: por lo tanto, las técnicas isotópicas constituyen un medio importante para el hidrólogo. Consciente de esto, el Organismo cumple una significativa labor en esta esfera. Casi no existen Estados Miembros que no se hayan beneficiado con estas importantes aplicaciones nucleares, a menudo gracias a la asistencia del Organismo.







Entre los problemas con respecto a los cuales los isótopos desempeñan un papel importante se cuentan los siguientes:

Agua subterránea

- origen,
- edad,
- distribución,
- calidad del agua,
- presencia y mecanismo de recarga, e
- interconexiones entre los cuerpos de agua subterránea (acuíferos).

Agua superficial

- dinámica de lagos y embalses,
- filtración de las represas;
- filtración a los conductos subterráneos,
- medición de la descarga de los ríos,
- transporte de sedimentos suspendidos y de sedimentos del fondo,
- tasa de sedimentación, y
- otros datos sobre litología, porosidad y permeabilidad de acuíferos.

Métodos

- empleo de isótopos artificiales, y
- empleo de isótopos ambientales.

Los isótopos artificiales se utilizan fundamentalmente para resolver problemas hidrológicos de carácter relativamente local como la filtración de las represas o la definición de zonas de protección del agua subterránea. También se emplean para averiguar las características del flujo del agua en rocas muy fracturadas, como karst, en las que el flujo del agua subterránea es relativamente rápido.

Ultimamente, se están usando más isótopos ambientales como el oxígeno 18, hidrógeno 2 (deuterio) e hidrógeno 3 (tritio) que forman parte de la molécula del agua. Estos isótopos son ideales como trazadores, pues se trata de isótopos ambientales, por lo que no hay dificultad para su aceptación por el público. En muchos casos, es posible obtener todavía más información con la aplicación de modelos matemáticos sofisticados; algunos de estos modelos ya se aplican provechosamente para conseguir más información a fin de interpretar el transporte de trazadores en sistemas de agua subterránea y el transporte de sustancias en disolución.

Aplicaciones

Los métodos isotópicos se usan generalmente junto con métodos hidrológicos corrientes ya establecidos, de manera tal que en la mayoría de los casos la utilización de isótopos ofrece un medio adicional

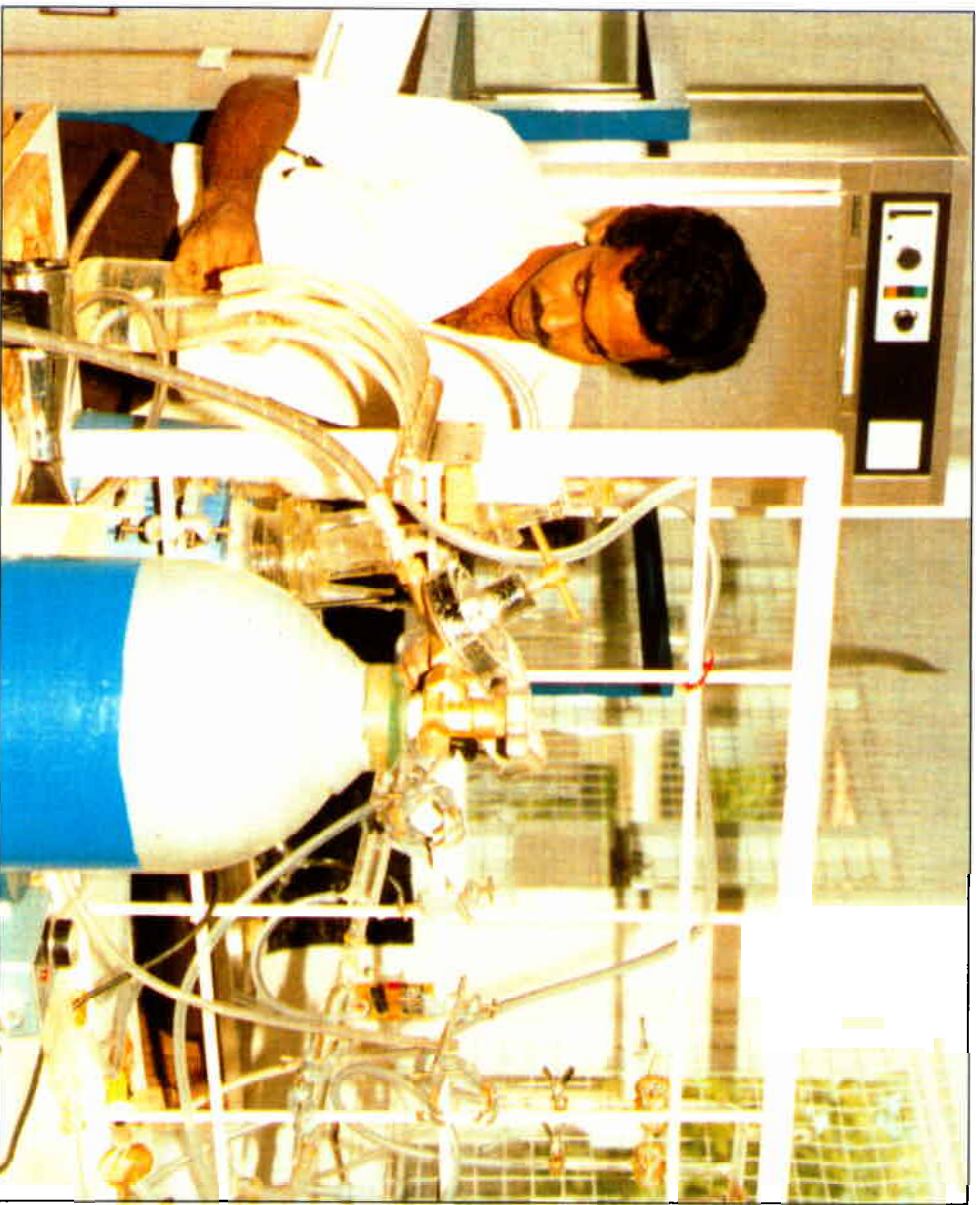
y valioso para resolver muchos problemas hidrológicos. En los últimos años, en cientos de casos difíciles los métodos isotópicos han arrojado resultados definitivos y satisfactorios.



He aquí algunos ejemplos que demuestran la posibilidad de adoptar decisiones importantes como resultado de esas mediciones:

- Gracias a la utilización de métodos isotópicos, en las zonas áridas y semiáridas puede determinarse la edad del

agua subterránea en lugares en que se prevé impulsar el desarrollo industrial. En un caso se descubrió que la edad del agua era de 20 000 años. Eso demostró que el agua subterránea no tenía contacto con nuevos recursos y que la zona se secaría en poco tiempo si se la extrajera. Las mediciones iso-



Utilización de unidades de destilación para aguas subterráneas antes de su enriquecimiento en tritio natural.



- tópicas fueron fundamentales para evitar una inversión grande e inútil.
- Los estadios de otros problemas en zonas áridas han incluido comparaciones entre la transpiración y las precipitaciones. En esos casos, es importante determinar rápidamente si se está realizando la recarga y determinar su mecanismo. Por ejemplo, en el agua subterránea del desierto de Kalaharí, en Bostwana, se descubrió que la concentración de tritio era comparable a la que tenían las escasas precipitaciones de la región. Esto confirmó que se producía una recarga bastante rápida y que el agua podía extraerse y utilizarse.
- Un estudio similar consistió en un esfuerzo cooperativo entre el Organismo y la organización nacional del agua de México sobre los mecanismos de recarga de la zona costera del sur de Veracruz. Aquí, las precipitaciones son abundantes pero se ven contrarrestadas por la evaporación. Resultaba importante comprobar si existía una recarga por infiltración de las precipitaciones locales. Las mediciones isotópicas permitieron confirmar que así era. Además, se estimaron las pérdidas por infiltración de un río que atraviesa la llanura costera.
- La contaminación del agua o su alta salinidad se mide por medios químicos, pero a menudo las causas de la contaminación pueden determinarse por métodos isotópicos. Una causa puede ser la intrusión del agua marina en los acuíferos costeros. Con ayuda de métodos isotópicos, en México, Creta y Portugal se han descubierto fuentes de contaminación de ese tipo.
- Solo los isótopos ambientales pueden usarse cuando se trata de grandes superficies. El amplio acuífero continental intercalado de piedra arenisca del Sahara septentrional se ha estudiado con empleo de isótopos, habiéndose demostrado la existencia de filtraciones desde el acuífero de piedra arenisca a otro acuífero. En la parte oriental de este acuífero, en Túnez, los isótopos demostraron que el agua de este gran acuífero se filtra a través de un sistema de falla. Los hidrólogos se ven a menudo frente al problema de si una falla constituye o no una barrera para el movimiento del agua subterránea.
- Las mediciones isotópicas sedimentológicas de carácter dinámico y la determinación de la erosión han ofrecido respuestas importantes en Singapur, donde existían problemas de sedimentación en el puerto y el peligro de erosión del terreno recientemente recuperado del mar para su utilización en el nuevo aeropuerto de Singapur. Gracias al empleo de radiótopos artificiales, los problemas existentes pudieron resolverse, incluidos los peligros de contaminación de la playa, sedimentación en las instalaciones del puerto y la erosión que podría haber amenazado al nuevo aeropuerto.



Países que han realizado actividades de hidrología isotópica con participación del OIEA

Afganistán	Francia	Paraguay
Albania	Ghana	Perú
Alemania	Grecia	Polonia
Arabia Saudita	Guatemala	Portugal
Argelia	Haití	Qatar
Argentina	Hungría	Reino Unido
Australia	India	República Árabe Siria
Austria	Indonesia	República Dominicana
Bangladesh	Irán	República Unida de Tanzania
Bolivia	Iraq	República Federativa de Checa y Eslovaca
Brasil	Islandia	Rumania
Bulgaria	Israel	Senegal
Camerún	Italia	Singapur
Canadá	Jamahiriya Árabe Libia	Sri Lanka
Colombia	Libia	Sudán
Costa Rica	Jamaica	Tailandia
Cuba	Malasia	Túnez
Chile	Mali	Turquía
China	Marruecos	Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas
Chipre	Mauricio	Uruguay
Ecuador	México	Venezuela
El Salvador	Mongolia	Viet Nam
Emiratos Arabes Unidos	Namibia	Yugoslavia
España	Nicaragua	Zaire
Estados Unidos de América	Niger	Zambia
Etiopía	Nigeria	
Filipinas	Nueva Zelanda	
	Pakistán	



Las técnicas nucleares se emplean para la “datación” de aguas subterráneas en el desierto.
(T. Akiti)

- Con empleo de isótopos ambientales y artificiales, se han estudiado exitosamente las interacciones del agua subterránea y la matriz de los acuíferos. Un proyecto de cooperación técnica en el acuífero aluvial del valle de Sébaco, en Nicaragua, dio solución a muchos problemas. El valle está rodeado por montañas de rocas volcánicas y atravesado por dos ríos. Se aplica-

ron isótopos ambientales y artificiales y se obtuvieron los siguientes datos importantes: dirección del flujo en pozos de sondeo, recarga en los cuatro límites del valle, flujo vertical descendente del agua en los pozos de sondeo, edad del agua subterránea y, por último, se determinó que no se producía recarga por infiltración de las precipitaciones locales.



Estos pocos ejemplos ponen de realce que los isótopos, tanto ambientales como artificiales, pueden resolver o ayudar a resolver importantes problemas hidrológicos con un bajo costo. Por lo tanto, no debe sorprender que el Organismo haya desarrollado estrechos contactos o establecido programas en relación con 85 países, lo que constituye una clase de asistencia muy exitosa brindada a países desarrollados y en desarrollo.

Los isótopos han demostrado su gran utilidad para los estudios de viabilidad de proyectos. Un ejemplo es el estudio de viabilidad de un proyecto para aumentar la capacidad de almacenamiento de un lago mediante la construcción de una represa en el Norte del Ecuador. Un primer paso consistió en determinar la actual pérdida por filtración del lago y evaluar el posible aumento de esa filtración a causa del gran incremento de la presión del agua.

Las mediciones proporcionaron las informaciones siguientes:

- Se determinó la presencia de una capa de arcilla;

- Se determinó la presencia de una capa arenosa;
- El lago no contribuye a la recarga de la capa arenosa;
- El acuífero arenoso muestra un aporte significativo de agua proveniente del período de precipitaciones que se remonta hacia atrás de 1985 a 1970;
- Se determinó la existencia de un flujo vertical que podría atribuirse a una descarga de agua subterránea; y
- Se determinó la existencia de diferentes permeabilidades y, por lo tanto, de diferentes velocidades del agua.

Se llegó a la conclusión de que si se construyera la represa en ese lugar podría esperarse una importante pérdida por filtración. Existía un emplazamiento mejor para la construcción de la represa, pero incluso en ese caso se estimó que podrían necesitarse inyecciones de cemento.

Una ventaja de los métodos nucleares es que pueden ofrecer una respuesta definitiva en poco tiempo y que las mediciones son relativamente baratas.

Geología, geoquímica, geofísica y datación



En geología, los métodos nucleares juegan actualmente un papel importante y a veces decisivo. Se emplean, por ejemplo, para determinar la física y química de los suelos. Los métodos que se utilizan con fines de exploración son los siguientes:

- Espectrometría de rayos gamma,
- Dispersión de rayos gamma,
- emisión de neutrones,
- neutrones pulsados y,
- radón natural.



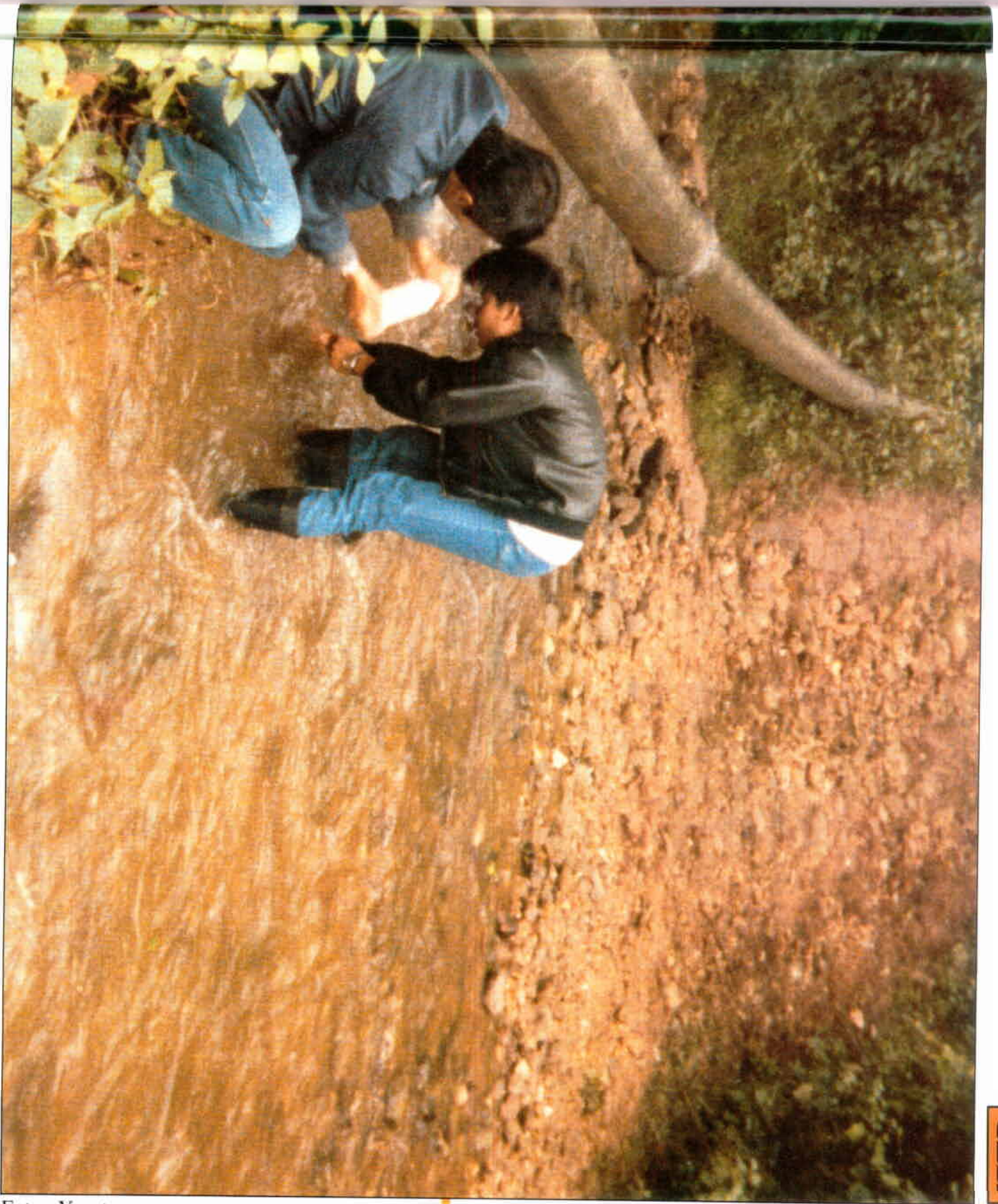


Foto: Yurstever



Esos métodos se utilizan en investigaciones de rocas, suelos, biología y agua.

Los minerales radiactivos naturales desempeñan un papel importante en geología. Existen 19 elementos diferentes que tiene 45 isótopos radiactivos que se presentan en forma natural, todos los cuales se encuentran en minerales y pueden emplearse para evaluar su edad y propiedades. De esos 19 elementos, los tres que con mayor frecuencia se hallan presentes en los minerales son los siguientes:

- uranio;
- torio; y
- potasio.

Los métodos nucleares son corrientes en la prospección de muchos minerales y del petróleo. Esos métodos se han perfeccionado considerablemente en los últimos 10 años gracias a una instrumentación cada vez mejor y más sofisticada y a una evaluación que se ve facilitada por los métodos computarizados de proceso de datos.

La diagraña de pozos de sondeo, que registra automáticamente las características de las formaciones rocosas por las que se hace atravesar un dispositivo de medición que muy a menudo es un dispositivo nuclear, permite medir la densidad, la porosidad y los elementos químicos, y determinar la litología. Cuando existe agua o petróleo es posible individualizar los estratos con contenido de hidrógeno gracias a la intensa absorción de neutrones o, en los casos en que el agua marina ha

penetrado en los estratos, puede medirse el cloro presente mediante un rayo gamma secundario penetrante, emitido espontáneamente. Es posible ubicar y medir las capas de piedra arenisca, dolomita o piedra caliza, por delgadas que sean. Las numerosas aplicaciones nucleares en la exploración de minas se mencionan en el capítulo relativo a la industria.

La datación isotópica constituye un campo que adquiere cada vez más importancia en la medida en que se perfeccionan los métodos de medición. Mucha gente ignora que la naturaleza no solo nos ha brindado muchas sustancias radiactivas, sino que las radiaciones cósmicas crean constantemente muchas más. Una de esas sustancias es el carbono 14 producido por la interacción de la radiación cósmica con el nitrógeno del aire. Las plantas vivas captan el carbono radiactivo en forma de dióxido de carbono. Cuando la planta muere, la captación cesa y el carbono 14 de la planta muerta se desintegra en un período de aproximadamente 5730 años. Por lo tanto, cuanto más tiempo lleve muerta la planta, más será el carbono 14 desintegrado, a partir de lo cual puede calcularse el tiempo transcurrido desde la muerte de la planta.

Este método permite determinar la edad de los objetos con contenido de carbono que tengan entre 1000 y 40 000 años, por lo cual se le utiliza ampliamente para la datación de suelos, conchas, sedimentos marinos, árboles, sitios arqueológicos, huesos y tejidos. Este método se utilizó también, por ejemplo, para determinar la edad del tan discutido sudario de Turín.



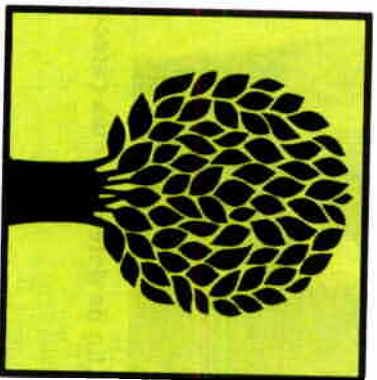
Demostración práctica de la inyección de trazador en un pozo a fin de determinar las características del acuífero.

En los últimos años se ha observado un renacimiento de los métodos que emplean isótopos ambientales como instrumento de datación en geoquímica. Un ejemplo es el desarrollo de la espectrometría por acelerador de masa, una nueva técnica analítica que permite detectar concentraciones bajas de radisótopos ambientales en muestras muy pequeñas.

La enorme cantidad de datos isotópicos de diversos tipos acumulados en el

mundo demuestra que los isótopos ambientales constituyen también un método importantísimo para investigar el clima. En numerosos laboratorios se realizan actualmente investigaciones climatológicas con empleo de técnicas isotópicas. En muchos casos, lo que se persigue es una comprensión profunda y una previsión detallada de los cambios climáticos que han de presentarse el próximo siglo.

Medio ambiente



La contaminación ambiental es hoy un problema mundial al que es preciso hacer frente de inmediato. Antes de cualquier iniciativa para reducir la contaminación, es necesario conocer con certeza tres factores:

- Cantidades exactas de las sustancias contaminantes y lugares en que se presentan;
- causas de la contaminación (puede tratarse de reacciones secundarias); y
- remedio adecuado para evitar la contaminación sin crear otros efectos indeseables

En la mayoría de los casos, los isótopos radiactivos y no radiactivos son ideales para responder a las dos primeras preguntas. El hecho de que puedan detectarse en cantidades muy pequeñas y, lo que tal vez es más importante, el que pueda observarse su movimiento, determinan que los isótopos sean un medio ideal para estudiar el desplazamiento de las sustancias contaminantes, tanto en el aire como en el suelo.



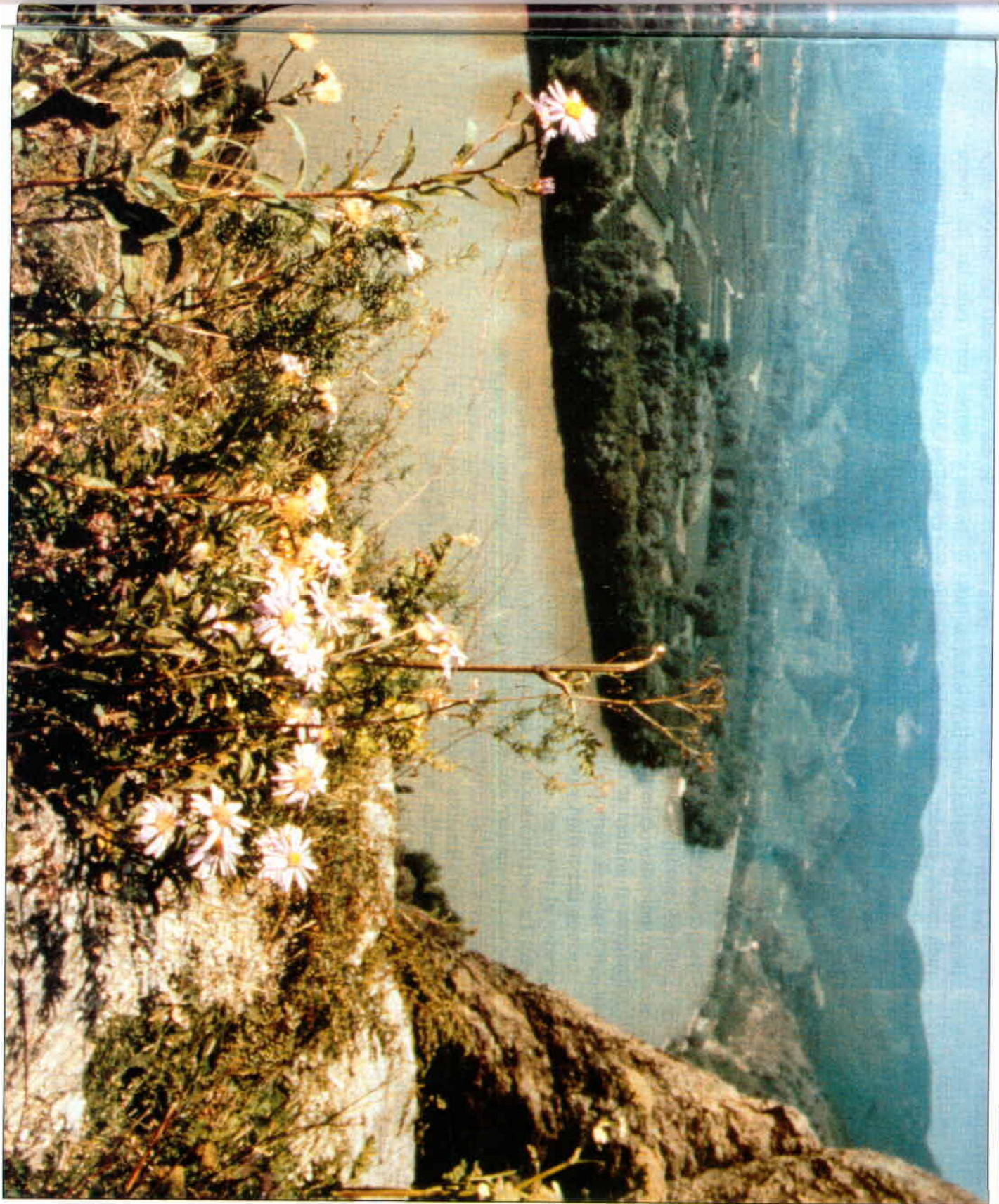


Foto: Katholitzky





Se han mejorado los métodos para detectar esas sustancias. Los isótopos no radiactivos pueden medirse de manera exacta con métodos nucleares, tales como los análisis por activación o la fluorescencia de rayos X, siendo este último ideal para su empleo sobre el terreno.

Aire

El mayor problema mundial que exige medidas drásticas inmediatas es el calentamiento global (efecto de invernadero). Este peligroso calentamiento continuo de nuestra atmósfera se debe en gran medida al dióxido de carbono liberado por la combustión del carbón y de materias orgánicas como el petróleo, la madera, la basura, etc. La determinación de las cantidades y formas en que este gas es asimilado por las plantas y el mar constituye un problema primordial; en esta esfera, los métodos isotópicos pueden desempeñar un papel importante. Al ayudar a resolver otros problemas de contaminación, como la presencia de dióxido de azufre en la atmósfera o la distribución de las emisiones gaseosas, los isótopos desempeñan una función relevante.

Los isótopos no solo son útiles para medir o determinar las vías de desplazamiento de las sustancias contaminantes; los métodos nucleares como la irradiación con haces electrónicos también pueden emplearse exitosamente para retirar sustancias gaseosas contaminantes, incluidos los gases nocivos como el dióxido de azufre o el óxido de nitrógeno emitidos por las centrales eléctricas a carbón.

Se ha desarrollado un método ingenioso y simple para calcular las liberaciones de dióxido de carbono en la atmósfera local de una zona industrial. El aire normal contiene cierta cantidad de carbono 14 radiactivo procedente de las radiaciones cósmicas, el cual, en la forma de dióxido de carbono ingresa a las plantas o a las hojas que crecen en esa zona. El dióxido de carbono derivado de la combustión de carbón y petróleo no contiene prácticamente radiactividad. Una planta que crece en una zona industrial asimilará la mezcla de los dos dióxidos de carbono procedentes de orígenes diferentes y cuanto mayor sea la presencia de dióxido de carbono producido por el hombre (no radiactivo), menor será la radiactividad medida en las hojas de esas plantas. Así puede calcularse el valor promedio de la emisión total de dióxido de carbono en esa zona.

Agua

Para seguir el mencionado ciclo "global del dióxido de carbono", es importante estudiar el dióxido de carbono en el mar. Aprovechando los diferentes comportamientos químicos de determinados isótopos de torio y uranio, es posible medir la velocidad a que las células microscópicas de fitoplancton se unen en partículas de mayor tamaño y posteriormente se sumergen abandonando las capas superiores biológicamente productivas, del océano. Para comprender cabalmente los ciclos globales del carbono del dióxido de carbono, es necesario conocer las tasas de esa remoción que, por intermediación biológica, tiene lugar en las aguas del océano.



Las capacidades que las técnicas nucleares presentan en relación con múltiples elementos son particularmente útiles para al estudiar la contaminación del aire, puesto que la gran cantidad de datos obtenidos puede utilizarse en programas de informática para el reconocimiento de configuraciones a fin de determinar y cuantificar algunas de las fuentes diferentes de contaminación, sea que estas residan en la industria, el suelo, la combustión de bosques o el mar.

Un método elegante para medir la contaminación de fitoplancton en los depósitos de agua recurre al carbono 14 como trazador radiactivo. Una muestra tomada del depósito se pone en contacto con dióxido de carbono marcado con carbono 14. El fitoplancton del agua capta el dióxido de carbono radiactivo para su fotosíntesis. Cuanto mayor sea la radiactividad registrada en la medición, mayor será la contaminación del fitoplancton.

Suelo

Si bien la contaminación del aire y el agua es tal vez más visible, por lo que se comenzó a observarla más temprano, la contaminación del suelo se ha convertido en un gran problema de importancia similar al que presentan las otras fuentes de contaminación ambiental. Este problema se descuidó durante mucho tiempo, aunque las sustancias contaminantes aparecían cada vez más en la cadena alimentaria. La agricultura emplea tal vez las mayores cantidades de productos químicos que

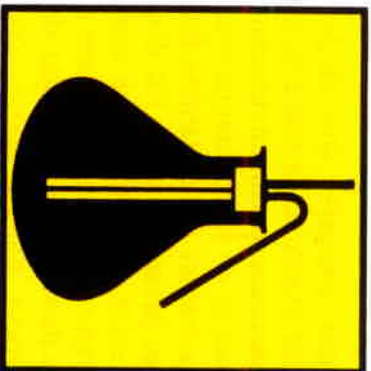
entran en el suelo como fertilizantes o plaguicidas.

Los plaguicidas venenosos deben probarse cuidadosamente para garantizar su descomposición en productos que no representen amenaza para el hombre o los animales. Una aplicación importante de los isótopos tiene por finalidad determinar la descomposición de los productos y su destino.

Otro problema agrícola medioambiental suele ser el de los fertilizantes no utilizados que se descomponen en productos de oxidación del nitrógeno y que por lo tanto pueden convertirse en un problema grave.

Los métodos nucleares son ideales para evaluar con exactitud la contaminación. En muchos casos, permiten determinar la fuente exacta de la contaminación. Existen muchas formas de contaminación del suelo que se presentan todos los días—como la filtración de tuberías que contienen, por ejemplo, excremento humano o petróleo, o los derrames superficiales de productos químicos transportados— con respecto a las cuales los métodos isotópicos desempeñan un papel importante (véase Industria).

Investigación científica básica

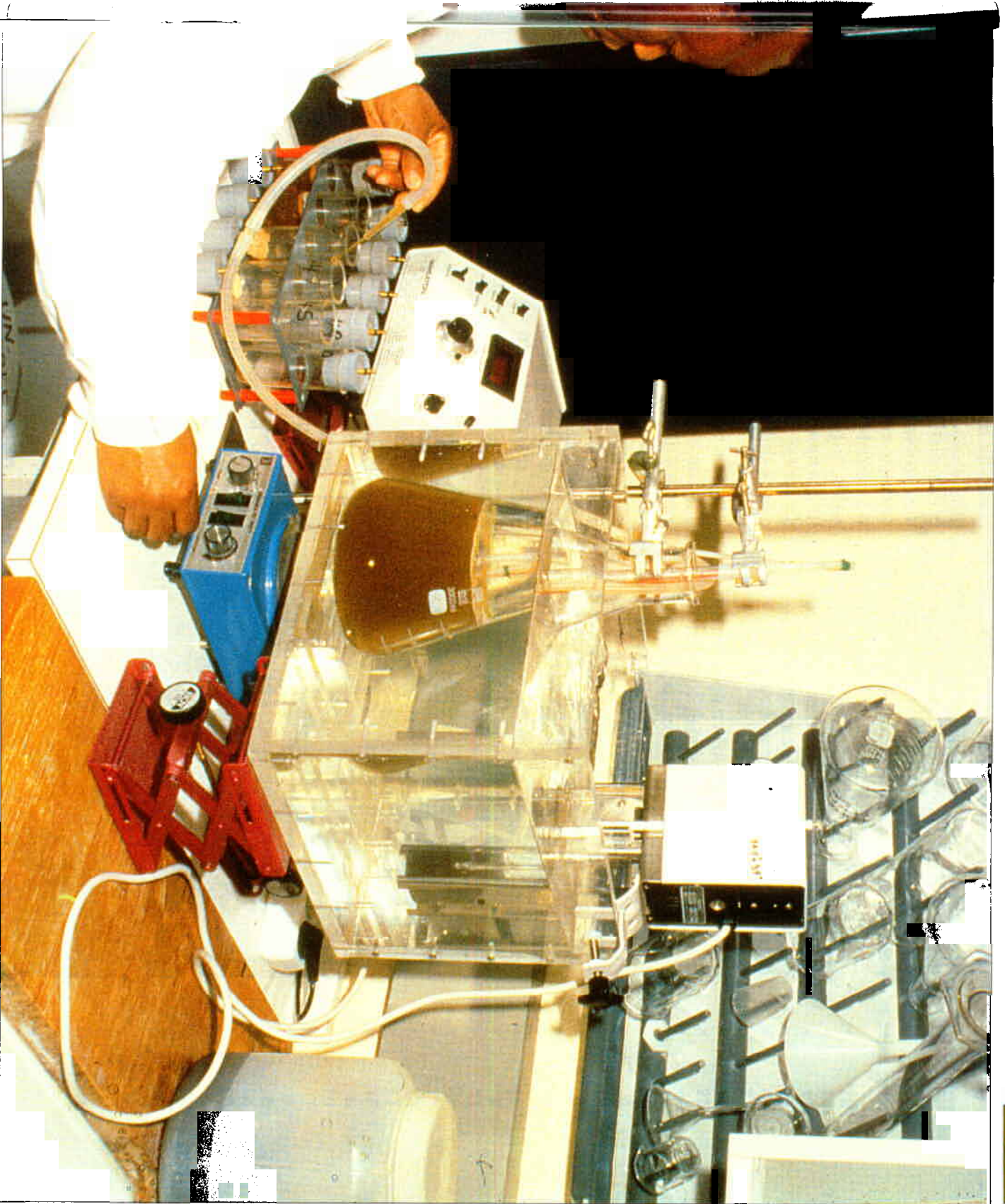


Los isótopos pueden incorporarse a compuestos químicos, asignándoles por lo tanto una marca. En cualquier reacción es posible seguir los compuestos marcados y obtener información sobre una posible descomposición o sobre el destino de los productos descompuestos. Eso reviste máxima importancia para las investigaciones biológicas y puede tener aplicaciones científicas muy amplias.

Por ejemplo, todo compuesto que se aloje de preferencia en un tumor podría descubrirse si contuviera un radisótopo. Esta técnica se ha ensayado durante muchos años y se han alcanzado grandes progresos en este promisorio campo de investigación. Los isótopos también se usan en estudios complejos de las funciones del cerebro.

En el desarrollo de la genética moderna, los radisótopos cumplen una función, del mismo modo que la cumplieron en el pasado cuando los átomos marcados con isótopos desempeñaron un papel para







proporcionar el modelo de ADN de Watson-Crick, el material genético portador de la información genética. En el campo de la química, tanto la radioquímica como la química radiológica recibieron su nombre después del descubrimiento de los átomos emisores de radiaciones y de que en muchos campos de la química se utilizan isótopos con fines de investigación.

En la mayoría de los campos científicos, los isótopos se emplean como instrumentos cuya necesidad es permanente. Sería imposible enumerar todas sus aplicaciones. Tal vez la magnitud de esas aplicaciones puede demostrarse mejor si se enumeran los temas de los programas coordinados de investigación que el Orga-

nismo ha impulsado activamente. En esos programas, los científicos que trabajan en países distintos, pero en torno a los mismos problemas, se reúnen periódicamente, discuten entre ellos y con otros expertos sus descubrimientos y los progresos alcanzados, y planifican sus programas para el futuro inmediato a fin de tener la seguridad de contar con un programa de investigaciones útiles que resulte económico.

Los programas coordinados de investigación muestran las numerosas formas en que los isótopos pueden beneficiar a los Países Miembros. Esos programas ponen en evidencia las formas en que la humanidad puede sacar provecho de esta investigación. Es grato que el número de países participantes en algunos de los programas

sea grande. En un caso toman parte 43 países; en otros participan de 10 a 30 países, lo que por cierto constituye un logro importante para el OIEA y una demostración de que una organización de las Naciones Unidas puede trabajar con mucha imaginación y suma eficacia. Debemos tener en cuenta que los programas que aquí se enumeran son solo una selección pequeña de ejemplos capaces de mostrar lo que estos impresionantes instrumentos científicos pueden hacer.



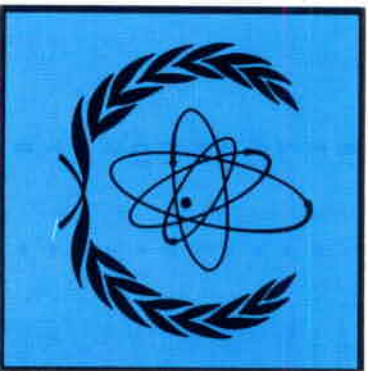
Evaluación de radionucleidos en el medio ambiente marino.



Actividades del OIEA en programas coordinados de investigación que comprenden el empleo de isótopos o radiaciones

	Número de países participantes
Cultivos en suelos afectados por la sal	• 9
Gestión del mejoramiento de pastos	• 16
Estudios de fijación del nitrógeno	• 17
Estudios de mutaciones inducidas con radiaciones	• 28
Mejoramiento de la producción pecuaria	• 43
Técnicas de los insectos estériles	• 17
Estudios de plaguicidas	• 18
Irradiación de alimentos	• 20
Estudios de fiabilidad de radioinmunoanálisis	• 4
Estudios de radioinmunoanálisis para hormonas relacionadas con el tiroideo	• 12
Estudios de enfermedades respiratorias con radioaerosoles	• 10
Inmunodiagnóstico de la tuberculosis	• 3
Técnicas de inmunodiagnóstico para esquistosomiasis humana	• 10
Técnicas nucleares para investigaciones y control de la malaria	• 9
Reactivos para diagnóstico de enfermedades transmisibles	• 5
Determinación por análisis de la dosis absorbida	• 5
Esterilización médica por radiaciones	• 18
Tratamiento de las alcantarillas mediante radiaciones	• 7
Estudios de la fermentación mediante radiaciones	• 12
Estudios de la contaminación ambiental	• 26
Estudio del transporte de sustancias contaminantes en el medio ambiente	• 11
Aplicación de técnicas nucleares en higiene profesional	• 3
Ingestión humana de oligoelementos importantes	• 13
Evaluación de los elementos tóxicos en productos alimenticios	• 10
Investigaciones de nutrición humana	• 5
Exploración de recursos naturales	• 10
Estudios de la relación suelo/agua	• 7
Generadores de $^{99}\text{Tc}^m$ en reactores pequeños	• 9
Tratamiento de polímeros con radiaciones para usos médicos o industriales	• 6
Aplicaciones de las radiaciones en medicina y biotecnología	• 4
Análisis de productos agroindustriales y de alimentos	• 10
Exploración de recursos geotérmicos	• 9
Análisis de espectros de emisión neutrónica	• 8
Calculos de datos de los materiales estructurales mediante neutrones rápidos	• 14
Datos nucleares para terapia neutrónica	• 6
Estimación de los desechos en la tecnología de los reactores de fusión	• 5
Datos para radioterapia	• 7
Calibración de patrones de rayos gamma	• 7

Participación del OIEA



Algunas personas pueden preguntarse por la participación del OIEA en la utilización de isótopos. Los isótopos son instrumentos útiles que tienen amplísimas aplicaciones en agricultura, medicina, industria, medio ambiente y en muchas ciencias. Sin embargo, no solo es esencial el conocimiento especializado de las aplicaciones de los radisótopos en esos campos, sino que deben tomarse también en consideración importantes aspectos conexos como las precauciones sanitarias y de seguridad, la manipulación, el equipo y las técnicas. Con respecto a estas esferas, el OIEA tiene un programa coordinado que abarca desde reuniones o conferencias hasta la capacitación, el envío de expertos, la concesión de contratos de investigación, la organización de cursos de instrucción y la prestación del asesoramiento necesario.

El OIEA también organiza proyectos coordinados que abarcan muchos campos de aplicación en regiones determinadas como América







Científicos de unos 120 países participan en proyectos de investigación, talleres, cursos especializados y actividades de capacitación individual del OIEA.

Latina o el Extremo Oriente, todos los cuales arrojan frutos inmediatos. Como muestra de esos acuerdos ajustados a las necesidades de cada región, pueden señalarse los siguientes:

- Técnicas analíticas nucleares,
- Aplicaciones nucleares en hidrología,
- Técnica de los insectos estériles en la lucha contra la mosca de la fruta,
- Mejoramiento de cereales mediante fitotécnica por mutaciones,
- Radioinmunoanálisis en producción animal,
- Radioinmunoanálisis en hormonas relacionadas con el tiroides,

- Irradiación de alimentos con fines de conservación, y
- Recursos geotérmicos.

El OIEA presta asistencia de múltiples maneras a los países en desarrollo en el campo de las aplicaciones isotópicas. En los últimos 25 años se han asignado becas a unas 9300 personas, se han enviado más de 9000 expertos a los países participantes, se han organizado casi 500 cursos de capacitación, se han donado equipos por un valor de unos 120 millones de dólares y se han concedido más de 6000 contratos de investigación.



Más de un 66% de toda la asistencia técnica ha estado relacionada con proyectos en que intervenían los isótopos, lo que constituye un reconocimiento de la importancia que éstos tienen para los Estados Miembros. Los beneficios obtenidos por los países gracias a algunas aplicaciones isotópicas son tan importantes que tales beneficios pueden influir en su ingreso nacional, sin mencionar los mejoramientos de la salud y calidad de la vida que no son susceptibles de medición en dinero.

Hevesy y Paneth, los primeros que, en 1911, utilizaron en el campo científico las sustancias radiactivas que existían en la naturaleza, probablemente no habrían podido prever la amplitud de las aplicaciones que habrían de desarrollarse desde entonces.

En la actualidad, prácticamente todos los seres humanos, independientemente del lugar en que vivan, se benefician con las aplicaciones de los isótopos y radiaciones. Para que una persona pueda beber agua en una zona semiárida o conducir un Rolls Royce, los isótopos han desempeñado un importante papel; pero la gente, en su gran mayoría, no tiene conciencia de ello. El objeto de este folleto es ofrecer una visión de las panorámica de las vastas y valiosas utilidades de esos instrumentos en la vida cotidiana. También debe contribuir a mostrar que las radiaciones ayudan a millones de personas a alcanzar una vida mejor y que, en algunos casos, salvan incluso vidas.

Evidentemente, igual que sucede con otros factores presentes en la naturaleza —el agua, el fuego, el gas, la gravedad— las radiaciones inadecuadamente aplicadas pueden desencadenar el desastre; sin embargo, se ha demostrado que empleadas de modo apropiado pueden ser enormemente valiosas para la humanidad.

Una mejor comprensión de sus aplicaciones puede ayudar a aclarar los malentendidos sobre el importante papel que los isótopos y las radiaciones desempeñan en nuestra vida cotidiana.

Como parte de un proyecto del OIEA en Zambia, se toman muestras de agua subterránea para tratarlas químicamente a fin de determinar sus contenidos de carbón. (Foto: Yurstever).



Redactor: *Dr. Henry Seligman*
Edición, presentación y composición: *Valerie A. Gillen*
Ilustración: *Roland Umer*



Organismo Internacional de Energía Atómica

IMPRESO EN AUSTRIA — SEPTIEMBRE DE 1991
IAEA/PI/A6S