



Ciencia y tecnología nucleares en los países en desarrollo: posibilidades y perspectivas

Reflexiones sobre el desarrollo de la energía nuclear en la energía, la agricultura, la medicina, la industria, la ciencia y otras esferas

por Noramly bin Muslim

En los 30 años de existencia del OIEA, los países en desarrollo han abordado casi todas las esferas de la ciencia y la tecnología nucleares, lo que ha conducido a la creación de una amplia base de desarrollo de átomos para la paz en el mundo. Como cabía esperar, los progresos no han estado exentos de problemas y en algunas esferas se ha avanzado más que en otras. El desarrollo pacífico de la energía nuclear está vinculado a muchos aspectos complejos. Dados estos antecedentes, ¿cuáles son las posibilidades? El examen de algunas de las principales esferas y aplicaciones en las que el OIEA participa mediante proyectos de cooperación técnica y otras actividades puede ofrecer perspectivas al respecto.

Centrales nucleares

Si durante los últimos decenios el uso de los isótopos y la radiación con fines pacíficos ha avanzado en los países en desarrollo más rápidamente que la creación de medios para producir energía nucleoelectrónica, las razones hay que buscarlas, sin duda, en el tiempo y los recursos financieros. La energía nucleoelectrónica entraña considerables inversiones financieras y requiere una infraestructura sustancial. Además, en la esfera de la energía un pronóstico a largo plazo es, quizás, más necesario que en muchos otros sectores. Hacer un pronóstico de esa índole es complejo y difícil, pues tiene que ser una integración de la política a seguir con otras fuentes de energía, y de una serie de factores relacionados con la economía nacional y las industrias auxiliares —como la capacidad de garantizar que el equipo se mantenga en funcionamiento— o de factores externos, como el precio del uranio o del petróleo. Un error de pronóstico puede acarrear graves consecuencias, ya que el tiempo de reacción de los “sistemas” involucrados es

largo; por ejemplo, se precisa de un promedio de 10 años aproximadamente para empezar a poner a punto un programa nucleoelectrónico.

La primera medida importante que debe adoptar un país en desarrollo es preparar un plan de desarrollo nacional sólido que cuente con un amplio apoyo. Cuando esté listo, y sólo entonces, se podrá garantizar el desarrollo efectivo de los recursos humanos y de la infraestructura industrial, que será lo que abrirá las puertas a todas las aplicaciones no energéticas. Estas, como se señala más adelante, tienen un interés evidente para todas las esferas de la actividad económica, así como para la esfera de la salud, a la vez que allanan el camino para que se considere la posibilidad de usar la energía nuclear, si las condiciones del país lo justifican.

En el sector energético hay muchas dificultades implícitas en los estudios de viabilidad que hay que realizar antes de decidir el inicio de un proyecto de energía nuclear. Debe añadirse que tales estudios sólo pueden ser realizados por los especialistas en energía de los grupos interesados, pero en esta esfera, quizás más que en ninguna otra, la asistencia externa es imprescindible. Asimismo, hay que ponderar muchos otros factores entre los que figuran la voluntad política de los Gobiernos interesados para llevar adelante un proyecto

El Sr. Noramly es Director General Adjunto de Cooperación Técnica del OIEA. Su artículo es un resumen de un trabajo presentado en el Simposio Internacional sobre la significación y el impacto de las investigaciones nucleares en los países en desarrollo, celebrado en Atenas.

Fotografías arriba (izquierda y derecha): En 1977, el OIEA y la FAO organizaron conjuntamente un curso de un mes de duración sobre fitotecnia en el Indian Agricultural Research Institute, en Nueva Delhi. Asistieron al curso 20 científicos, entre ellos los de Indonesia e Ghana que aparecen aquí. (Cortesía de A. Micke, OIEA)

tan complejo y de tan largo plazo; la comprensión y aceptación públicas de la energía nucleoelectrica; la capacidad industrial del país para elaborar, explotar y mantener un proyecto de tal envergadura; y, lo que no es menos importante, la disponibilidad de una financiación adecuada en condiciones que permitan que un proyecto de esa índole sea viable, tanto desde el punto de vista económico como técnico. Después surgen las otras cuestiones obvias y vitales que se deben considerar en relación con los aspectos técnicos de la energía nucleoelectrica, a saber, la seguridad y la protección radiológica, el ciclo del combustible nuclear, el almacenamiento de desechos y la clausura, entre otros.

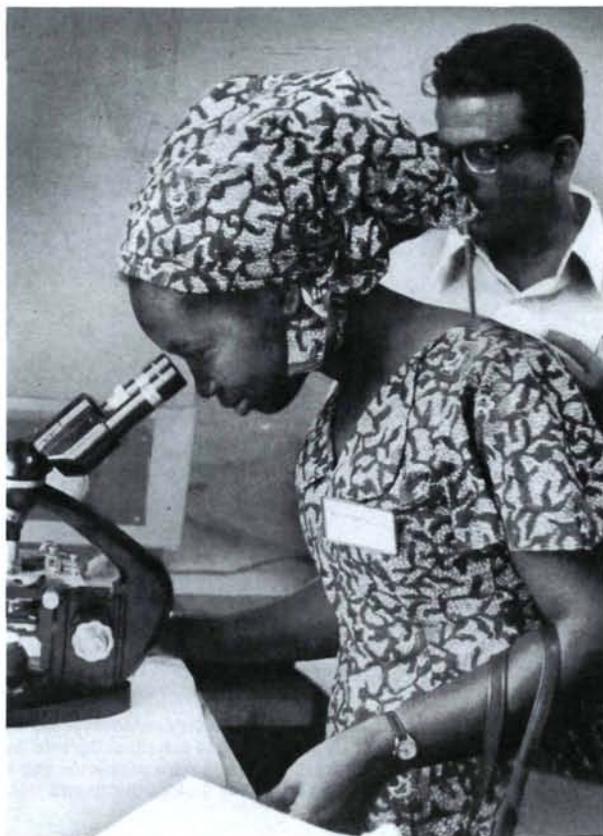
Teniendo en cuenta todos esos factores, ¿cuáles son las perspectivas de expansión de la energía nucleoelectrica en los países en desarrollo?

Hablando en términos generales, como el consumo energético es el reflejo del desarrollo de un país, cabe pronosticar que en el futuro el consumo de energía crecerá necesariamente; en tal sentido, es interesante destacar que el consumo de electricidad crece más rápidamente en los países en desarrollo que en los países industrializados. El quid está entonces en conocer a qué ritmo.

La introducción de la energía nucleoelectrica en los países en desarrollo ha sido más lenta de lo previsto: hasta el 31 de octubre de 1986 había 21 instalaciones nucleares en funcionamiento y 18 en construcción, y de estas últimas, nueve correspondían a sólo dos países, a saber, la India y la República de Corea. Las demás se encuentran en la Argentina, el Brasil, Cuba, China, las Filipinas, Irán y México.

Teniendo en cuenta los reactores que ya se sabe están conectados a la red de distribución y los que están en construcción, se ha estimado que hasta 1990 el crecimiento de la capacidad nucleoelectrica de los países en

Entre los países en desarrollo, la República de Corea realiza uno de los más os programas de energía nucleoelectrica. En la foto se muestran maquetas para el diseño de las salas de turbinas de dos instalaciones nucleares que se construyen en el país. (Cortesía de French Nuclear Newsletter, 1986)



desarrollo será de 12,7 gigavatios eléctricos (GW(e)) aproximadamente, lo que representa el 10% del crecimiento estimado para todos los países (120,5 GW(e)). Para un futuro más lejano, el OIEA estima por lo bajo que (sin tener en cuenta a los países en desarrollo de economías de planificación central de Europa) la capacidad de generación de energía nucleoelectrica ascenderá a 30 GW(e) y 40 GW(e) en 1995 y el año 2000, respectivamente. Esto representaría (en ambas estimaciones) el 4% de la capacidad total.

Estos pronósticos deberán considerarse sólo como estimaciones aproximativas, ya que suponen la existencia de factores o acontecimientos imposibles de predecir, como, por ejemplo, un posible reajuste de los planes nacionales a raíz del accidente de Chernobil, o la introducción de reactores de pequeña y mediana potencia que están siendo objeto de evaluaciones económicas.

Agricultura y alimentación

Las técnicas nucleares se han convertido en instrumentos indispensables para las actividades de investigación y desarrollo en el sector de la agricultura y la alimentación. Estas técnicas se usan principalmente en el perfeccionamiento de la nutrición animal, o, en la aplicación de fertilizantes, la creación de nuevas variedades de plantas o de plaguicidas más eficaces y menos nocivos, la erradicación de insectos dañinos, y la conservación de productos alimenticios. Los países en desarrollo no han tardado en mostrar interés por esas técnicas y en usarlas con provecho. En la mayor parte de los casos las fomentan con la ayuda de la División Mixta del Organismo y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), creada en 1964. Esa ayuda se les brinda mediante unos 150 proyectos de cooperación técnica.



En las investigaciones pecuarias son características las inyecciones de radisótopos que sirven de trazadores en los estudios. Durante los últimos 30 años, el OIEA ha prestado ayuda para proyectos sobre sanidad, nutrición, productividad pecuarias y otras disciplinas relacionadas con la ganadería.

● **Nutrición animal.** En muchos países, especialmente de regiones tropicales o subtropicales, la escasez de leche y carne obedece más a la poca productividad que a la falta de ganado. Los trazadores radiactivos pueden usarse para estudiar los procesos de fermentación, el aprovechamiento de las proteínas en el rumen, y los procesos de asimilación en el intestino. Por lo tanto, permiten seleccionar nutrientes baratos, como la paja, y ayudan así a aumentar el peso del animal y la producción de leche. Estas ventajas pueden conseguirse también mediante el perfeccionamiento de la gestión reproductiva de esos animales; a tal fin, se están utilizando técnicas de radioinmunoanálisis (RIA) para determinar los numerosos factores que intervienen en el proceso. Tanto el RIA como las técnicas de trazadores se están aplicando con éxito en la lucha contra las enfermedades de los animales.

● **Plaguicidas y fertilizantes.** En la agricultura, la intensificación de la producción agrícola en los países en desarrollo lleva aparejado un aumento sustancial del empleo de insecticidas; el uso de fertilizantes seguirá el mismo camino. En términos generales, el empleo de fertilizantes, insecticidas y herbicidas es beneficioso, pero al mismo tiempo surten un efecto que suele ser nocivo, porque tales productos (o sus derivados) se incorporan en las aguas subterráneas y superficiales. Son bien conocidos los casos de eutroficación de los lagos causados por los fertilizantes de suelos en cultivo transportados por las aguas. Para una utilización óptima de estas sustancias es necesario conocer los fenómenos del transporte y las repercusiones de su interacción con el medio a que quedan expuestas una vez aplicadas. El método preferido para realizar estos estudios con éxito son las técnicas de trazadores. Con ellas es posible, por ejemplo, determinar en qué medida el coeficiente de pérdida de insecticida depende de la temperatura, la precipitación, la luz solar y el tipo de suelo y de cultivo.

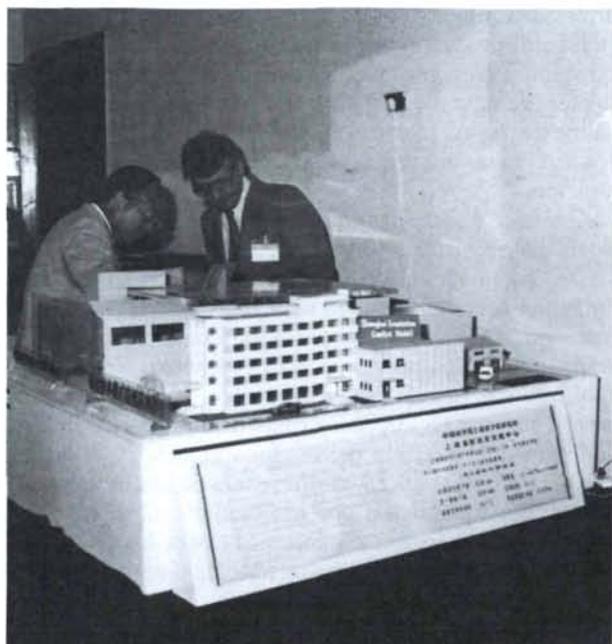
● **Mutagénesis y selección de semillas.** Otra importante técnica nuclear que se usa para ayudar a elevar la producción de alimentos es la irradiación de las semillas empleando radiación gamma o neutrones rápidos para inducir mutaciones. De esta forma se amplía la diversidad genética para la selección de especies que, combinadas, pueden producir variedades con las propiedades deseadas. Entre esas propiedades figuran un mejor rendimiento, resistencia a las condiciones externas desfavorables, tolerancia al agua salada y mayor resistencia a las enfermedades. Como es de suponer, esta técnica interesa a un gran número de países en desarrollo. El OIEA tiene un programa muy activo en esta esfera y brinda ayuda a unos 20 proyectos de cooperación técnica. El Organismo ha hecho hincapié en lo valiosas que son esas técnicas para los países en desarrollo y muchas de ellas ya se están aplicando activamente en esos países. Sus usos seguirán ampliándose, ya que responden a intereses vitales y son muy bien aceptadas por el público. Su ritmo de crecimiento exacto depende de las condiciones específicas de cada país, en particular de las condiciones económicas.

● **Irradiación de alimentos.** La conservación de los alimentos mediante la irradiación es una técnica ya probada. Impide la germinación de los vegetales, prolonga su período de conservación, limita el surgimiento de agentes patógenos, parásitos, e insectos que atacan a los alimentos, y garantiza la esterilización microbiana de las especias y los ingredientes secos. Tiene un interés primordial para los países en desarrollo, en particular los de regiones tropicales, para conservar los productos alimenticios y lograr la desinfestación de las especias. Algunos de esos países, al igual que varios países industrializados, han aprobado la irradiación de muchos productos. Es probable que las conclusiones a que se llegó en 1981 en el marco de un proyecto internacional de irradiación de alimentos, en el sentido de que los productos que recibían una dosis media total de irradiación inferior a 10 kilogray eran inocuos, junto con la aprobación en 1983 por la Comisión del Codex Alimentarius de las normas para la irradiación de los alimentos, fomenten un mayor empleo de esta técnica. En los últimos 3 años, hemos visto, en relación con el programa de cooperación técnica del Organismo, un creciente interés de los Estados Miembros en desarrollo por la aplicación de esta tecnología; esa tendencia avanza firmemente. El principal obstáculo para la rápida expansión de la irradiación de alimentos es su comprensión y aceptación públicas. Ya se reconoce ampliamente que existe la necesidad generalizada de hacer mayores esfuerzos para conseguir que el público admita las numerosas y significativas ventajas que ofrece la irradiación de los alimentos.

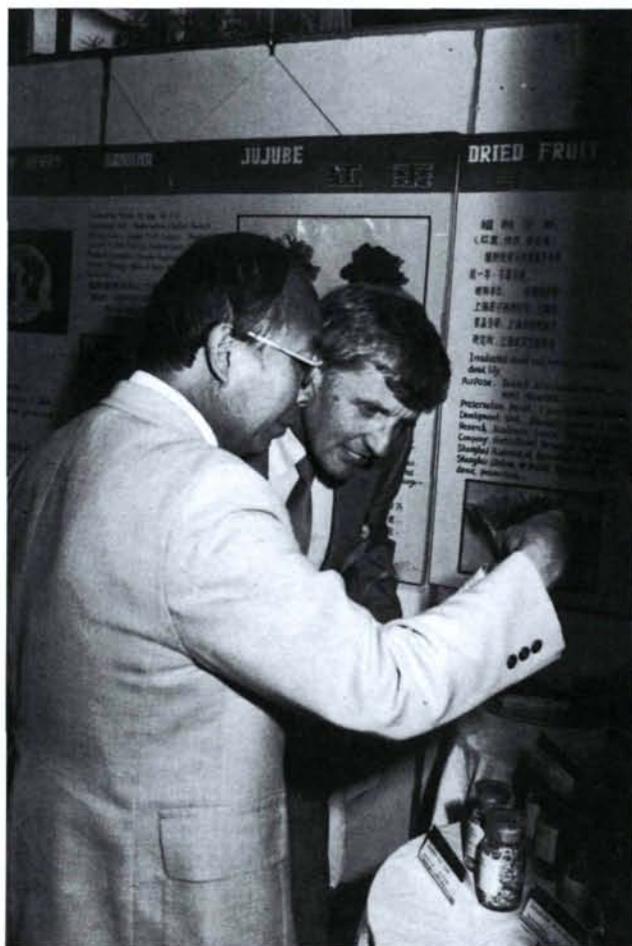
Industria y ciencias geológicas

Entre las primeras aplicaciones de las técnicas nucleares que se desarrollaron figuran algunas en la esfera industrial y en las ciencias geológicas que ahora han pasado a ser prácticas convencionales, generalmente sobre una base comercial.

● **Calibradores de espesor, densidad y nivel.** Casi todas las máquinas grandes de fabricación de papel están dotadas de calibradores nucleares que brindan informa-



Dos de los centenares de participantes en el seminario conjunto FAO/OIEA sobre la irradiación de alimentos, celebrado en Shanghai, en abril de 1986, para la región de Asia y el Pacífico. La maqueta corresponde a la instalación de irradiación de Shanghai, que ya está en servicio.

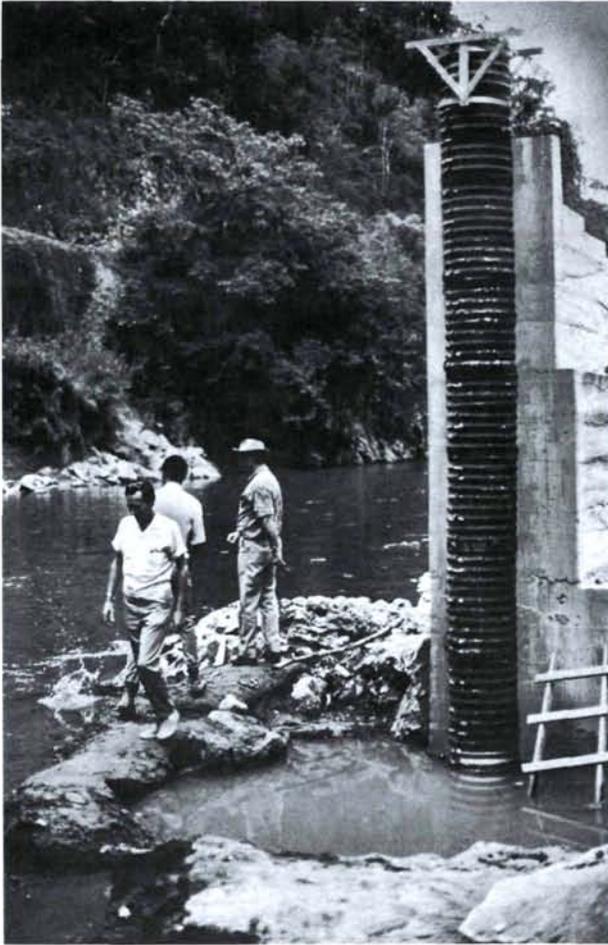


ción continua sobre la densidad del papel fabricado; y prácticamente todas las acerías de importancia están dotadas de calibradores nucleares de espesor. Además, los calibradores de nivel se emplean por miles en los procesos industriales. Estos dispositivos ya dejaron de ser objeto de investigaciones y desarrollo, salvo en el caso de problemas muy concretos. En los países en desarrollo su introducción va siguiendo lentamente al proceso de industrialización. Cabe destacar que el Acuerdo de Cooperación Regional del OIEA y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo están desempeñando un papel muy positivo y estimulante en la introducción de este tipo de equipo en la región de Asia y el Pacífico, en particular en lo que respecta a calibradores de papel y acero.

● **Trazadores para la industria.** A partir de la Segunda Guerra Mundial se ha generalizado rápidamente el empleo de trazadores en la industria. Ofrece un método sencillo para la corrección de anomalías en la industria fabril, resuelve diversos problemas de medición y brinda soluciones cada vez más avanzadas para los problemas de los procesos de perfeccionamiento y control. En relación con estos últimos, el método de trazadores debe su éxito al hecho de ser la única técnica que permite hacer frente al fenómeno de la dispersión. Este fenómeno tiene una importancia capital para los procesos industriales en los que se explota (mezcladores, reacciones químicas) o se evita (transporte de fluidos por tuberías). En muchos países industrializados las

empresas de servicios usan este método sobre una base comercial. En otros países sólo se aplica en laboratorios o a escala piloto, y resulta difícil obtener licencia para utilizar trazadores en las fábricas. No cabe duda de que en este sentido se evolucionará hacia una actitud más liberal, ya que el perfeccionamiento de los procesos es una preocupación permanente de las industrias y las empresas de ingeniería y la técnica de trazadores suele ser la única aplicable. El nivel de radiactividad presente en los ensayos que se efectúan con trazadores en una planta suele ser muy bajo, y esos ensayos siempre suponen el empleo de isótopos de período de desintegración muy corto. Sólo unos pocos países en desarrollo están empleando con éxito los trazadores en la industria. Cabe suponer que esta actividad aumentará en esos países, ya que el costo de las infraestructuras necesarias es insignificante en comparación con los beneficios que se obtienen, y tienden a seguir al proceso de industrialización.

● **Ensayo no destructivo.** Los métodos nucleares de ensayo no destructivo (END), particularmente la radiografía gamma, son de uso común en la mayoría de los países en desarrollo. El control de la calidad de los equipos suele ser un aspecto decisivo y también un factor competitivo. Probablemente sea esta la razón fundamental de que su uso esté tan difundido. El OIEA está tomando parte en diversas actividades a nivel internacional para armonizar los métodos de capacitación de técnicos interesados en el END. Cabe esperar que este tipo de ensayo se generalizará aún más en los países en



El OIEA ha ayudado a muchos países interesados en el empleo de radisótopos para estudiar los problemas relativos al suministro de agua. En el decenio de 1960 el Organismo realizó estudios isotópicos en Jamaica para un proyecto del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

desarrollo como resultado del progreso de las industrias manufactureras nacionales. No hay dudas de que así ocurrirá en un plazo más largo, cuando en algunos países se requiera el control de calidad en condiciones comerciales. Quizás el ejemplo de Singapur nos permita hoy avizorar el futuro en este sentido. Allí se está aplicando la política de comprar plantas "llave en mano" y se está haciendo especial hincapié en la elaboración de métodos de control de calidad para los artículos destinados a la exportación.

● **Química de la radiación.** El uso de la radiación como fuente de energía para diversos procesos industriales se ha ido extendiendo gradualmente a una serie de aplicaciones bien establecidas. Comenzando a principios del decenio de 1950 con la esterilización industrial de suministros médicos por irradiación, han surgido nuevos usos como resultado de las amplias investigaciones básicas y aplicadas que se han efectuado en materia de radiación. La modificación radioinducida de polímeros se desarrolló hasta aplicarla con éxito en procesos industriales, en particular en la industria de cables y alambres, la industria de envases, y otras. Más tarde, la curación mediante radiaciones abarcó una extensa gama de aplicaciones, y sustituyó y complementó, por ejemplo, a procesos de irradiación ultravioleta y a procesos

térmicos. En la actualidad se emplean para fines industriales en alrededor de 45 países unas 150 fuentes de radiación industriales de alta capacidad (principalmente fuentes gamma de cobalto 60). Se emplean comercialmente varios cientos de aceleradores de haces electrónicos para diferentes tipos de radioreticulación y curación.

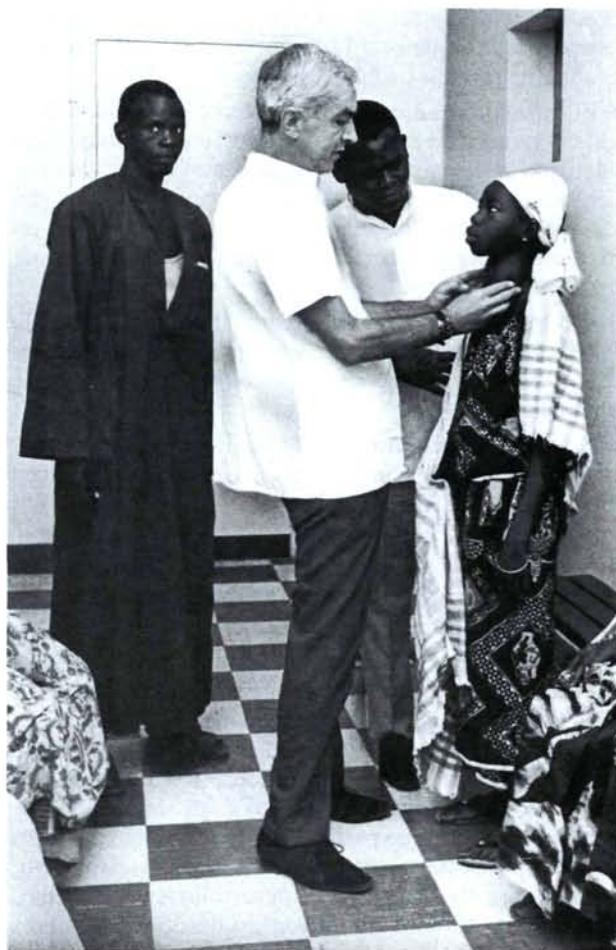
Además, se desarrollan nuevos procesos que se espera pasen al plano comercial en un futuro cercano. Ya se ha mencionado el tratamiento de productos alimenticios por irradiación para fines de conservación. Entre otros empleos figuran la descontaminación por irradiación de los productos de desecho para volverlos a utilizar sin riesgo (aguas cloacales, cieno), el tratamiento por irradiación de los gases de combustión industrial para la protección del medio ambiente, y diversas aplicaciones biomédicas. A diferencia de lo que se suele suponer, el tratamiento por irradiación es, en muchos casos, una tecnología más apropiada para los países en desarrollo que cualquier otra tecnología competitiva que se base en otras fuentes de energía. Por ejemplo, la esterilización industrial por irradiación es un proceso sencillo y fiable, seguro para el medio ambiente y para las personas que manipulan las fuentes de radiación. En los países en desarrollo se aplican las mismas normas de seguridad que en los países más desarrollados, pero no puede decirse lo mismo de las tecnologías competitivas basadas en el uso de gases tóxicos, ya que en este caso las elevadas normas de seguridad de los países avanzados nunca se logran en los países menos adelantados. Las posibilidades que encierra la esterilización por irradiación se reconocieron hace tiempo en los países en desarrollo, muchos de los cuales poseen instalaciones no industriales para ese proceso. Las ventajas son evidentes y la repercusión sobre los niveles generales de cuidado de la salud son muy significativos.

Con todo, las ventajas que ofrece este proceso en otras esferas de actividad no se reconocen ni se aprovechan aún cabalmente. Una razón importante puede ser la situación de los programas nacionales de ciencias y tecnologías de las radiaciones en el sentido de que la ingeniería de las radiaciones, la física de las radiaciones y la química carecen de infraestructura, tradición adecuada e información pertinente. Esto dificulta el reconocimiento de las oportunidades industriales y la preparación y ejecución de proyectos de tecnología de las radiaciones orientados hacia la industria. Se ha observado que los países que tienen programas relativamente bien elaborados de investigación en materia de radiaciones estuvieron en mejores condiciones para aplicar la nueva tecnología en una etapa más temprana, y para efectuar la transferencia tecnológica. La transferencia de tecnologías más complejas como la radioreticulación y la curación se está realizando con suma lentitud, ya que entraña numerosas dificultades, debidas principalmente a la falta de capacidad nacional para la investigación en control de calidad, control de procesos, desarrollo de procesos, desarrollo de materiales, y así sucesivamente. En muchos países en desarrollo se ha comprobado que existen posibilidades de empleo de las radiaciones en la industria y, decididamente, la necesidad de ellas irá en aumento. El crecimiento tendrá lugar paralelamente a la industrialización general y como resultado de la necesidad cre-

ciente de mejores niveles de cuidado de la salud, seguridad del personal, nuevos productos de mejor calidad y preservación del medio ambiente, así como por otras razones.

● **Técnicas analíticas nucleares.** Como todas las técnicas analíticas, las nucleares inciden en muchas ramas de la investigación y la tecnología. Sus aplicaciones son especialmente importantes en la industria y las ciencias geológicas. Entre ellas se encuentran los análisis por activación con neutrones epitérmicos y rápidos, y diversas técnicas de trazadores como el análisis por dilución isotópica, la fluorescencia X inducida por radiación nuclear y, por extensión, la fluorescencia X, cualquiera que sea el modo de excitación, aunque el fenómeno básico que ocurre no es nuclear, sino atómico. Estas técnicas se utilizan ampliamente en muchos laboratorios de análisis que también emplean métodos no nucleares. En particular, el análisis por activación se emplea en algunos sectores de la prospección de minerales, la geología, la medicina, la vigilancia ambiental y la investigación industrial. Muchos proyectos de cooperación técnica del OIEA se relacionan con la introducción de estas técnicas en países en desarrollo donde se establecido varios laboratorios. Cuando estos laboratorios practican el análisis por activación, se ubican en las inmediaciones de reactores nucleares de investigación o de generadores neutrónicos. Generalmente realizan trabajos de análisis para los centros de investigación nuclear, así como para otras organizaciones nacionales. La fluorescencia X no depende de la existencia de grandes instalaciones como un reactor nuclear o un acelerador de partículas; se emplea, por ejemplo, en trabajos de prospección y extracción, en la industria y en diversos institutos de investigación. Un laboratorio de análisis por activación se suele crear en combinación con un reactor de investigación a fin de que preste servicios para otras actividades que no siempre se determinan de antemano. Esto podría dar lugar a la creación de un método analítico como un fin en sí mismo y no como un medio para resolver determinado tipo de problema. Semejante riesgo puede evitarse prestando una cuidadosa atención a las necesidades de los usuarios finales de estas técnicas. Cabe pronosticar que las técnicas analíticas nucleares seguirán multiplicándose en los países en desarrollo. Ya estas necesidades son bien conocidas en los países avanzados, y se comprende bien el papel de las técnicas nucleares con relación a las técnicas no nucleares. Parece que estas necesidades existen en los países en desarrollo y, ciertamente, aún no se han explorado a plenitud.

● **Hidrología isotópica.** Ya es un lugar común la observación de que los problemas de suministro de agua son cruciales para los países en desarrollo. Entre las primeras técnicas nucleares que se crearon en 1950—1955 figuran las que emplearon, de inicio, trazadores artificiales, y después trazadores ambientales como el deuterio, el oxígeno 18, el tritio, el carbono 14 y otros. Los problemas abarcan todas las etapas del ciclo del agua y se reconoce universalmente la utilidad de estas técnicas para resolverlos, ya sea como complemento de técnicas no nucleares o por sí mismas. El marcado natural de los recursos hídricos por los isótopos estables del hidrógeno y el oxígeno, o la desintegración radiactiva de los elementos naturales que dichos



Ya en 1967 el OIEA prestó asistencia para un proyecto del Senegal que se ejecutó en el Laboratorio de Radisótopos del West African Cancer Research Institute, con sede en el Dantec Hospital, de Dakar. Ahora, en virtud de otros proyectos, el OIEA sigue asistiendo al Senegal en esferas de la medicina nuclear. (Cortesía de las NN.UU.)

recursos contienen, se aprovechan para solucionar difíciles problemas que tienen que ver con sus relaciones, mezclas, origen y datación. El OIEA ha desempeñado una importante función al establecer laboratorios de hidrología isotópica en muchos países en desarrollo. Aún queda mucho camino por recorrer para resolver los problemas relativos a los recursos hídricos en la mayor parte de los países en desarrollo. De ahí que las actividades de los laboratorios interesados sigan avanzando y otros laboratorios deban comenzar a funcionar en el futuro. Tendrán que hacer frente a nuevos problemas, como la contaminación de las aguas, o tendrán que contribuir a la explotación de recursos naturales, como las fuentes geotérmicas, que hasta ahora no se han aprovechado.

Medicina nuclear

Los trazadores radiactivos se utilizan amplia y provechosamente en el campo de la medicina, utilización que se conoce en general como medicina nuclear. En la actualidad unos 60 países en desarrollo tienen programas en esa esfera. Los trazadores se emplean en el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades, así como en la investigación médica. Existen cuatro

categorías principales de aplicación, definidas según la forma en que se detecta la radiación y la forma en que se administran los trazadores.

- El trazador se administra al paciente y la radiación se mide por fuera de éste. Corresponde a esta categoría la obtención de imágenes de los órganos corporales por medios nucleares, por ejemplo, la exploración del cerebro, así como los análisis destinados a describir un proceso fisiológico, como la excreción por el riñón de una molécula marcada.

- El trazador contenido en una muestra de líquido fisiológico se mide *in vitro* para determinar, por ejemplo, el volumen sanguíneo, o estudiar la absorción de vitaminas.

- No se administra al paciente ningún trazador y todos los análisis se realizan *in vitro*; así ocurre, pongamos por caso, en los análisis hormonales mediante radioinmunoanálisis (RIA).

- Esta categoría se relaciona con la terapia radisotópica, que incluye el conocido tratamiento del cáncer de la tiroides con yodo radiactivo.

El RIA, técnica que permite estudiar el sistema de defensa del organismo contra elementos parásitos o hacer diagnósticos, ha cobrado una gran importancia, sobre todo durante el último decenio, dado que posibilita medir con una elevada precisión los antígenos o anticuerpos. Además, la obtención de imágenes por medios nucleares, que permite ver los órganos marcados después que el paciente ingiere un trazador radiactivo, ha experimentado un notable desarrollo en los últimos años. Esta técnica ha evolucionado desde los primeros detectores hasta las cámaras gamma que, cuando se conectan a una computadora, permiten realizar lo que hoy se conoce como tomografía, o en otras palabras, imágenes en corte de los órganos del cuerpo. Estas y otras técnicas empleadas en la medicina nuclear requieren productos radiofarmacéuticos muy específicos para los cuales tiene que haber un control muy estricto de calidad. La preparación de estos radiofármacos da origen a una industria muy activa. Casi toda la elaboración de nuevos radiofármacos, comprendidos los procedimientos de control de calidad y los instrumentos requeridos, está a cargo de los laboratorios nacionales, privados o comerciales más avanzados y mejor dotados de los países orientados hacia la tecnología. Salvo escasas excepciones, los laboratorios de los países en desarrollo no han participado en esta actividad. Por cierto que la creación de nuevos radiofármacos comercializables es una práctica dilatada y costosa que en muchos casos dura algunos años y precisa de considerables recursos económicos y humanos. Ahora bien, el plazo que media entre el momento en que un producto nuevo se somete a prueba y se autoriza su uso clínico en un país tecnológico, y el momento en que algún producto similar se llega a producir localmente (por lo general en un centro nacional de investigaciones nucleares de un país en desarrollo), no es tan largo como en muchas otras esferas. En algunos casos ese lapso no es mayor de un año. Este es un ejemplo de la corriente, relativamente ininterrumpida, de información y conocimientos técnicos y del mejor uso que se le ha venido

dando, sobre todo en los países en desarrollo más avanzados. Desde luego, la situación es muy diferente en aquellos países en desarrollo menos adelantados que no importan juegos de radiofármacos, los cuales son producidos sólo por un reducido número de grandes proveedores comerciales.

Sin embargo, existe otra esfera conexas de la medicina nuclear en la que apenas se ha efectuado transferencia tecnológica. Se trata de la producción y el suministro de radisótopos y generadores de radisótopos de importancia médica. La tecnología existente para la generación del radisótomo que más se emplea en medicina nuclear en todo el mundo, a saber, el tecnecio 99m, se basa en procedimientos radioquímicos muy costosos y avanzados que incluyen la producción de molibdeno 99 de fisión, el radisótomo padre del tecnecio 99m metastable. Solo algunos de los más avanzados países industrializados producen generadores de tecnecio. Ha sido en extremo difícil para los países en desarrollo absorber y dominar esta tecnología, tanto por razones económicas como debido a la falta de reactores nucleares con flujos de neutrones e instalaciones de elaboración apropiados. Algunos países importan generadores de tecnecio 99m en cantidades considerables, aunque tienen reactores nucleares de investigación en explotación. Gracias a ideas recientes, está surgiendo una nueva tecnología de generación que facilitará el empleo de reactores de investigación de mediana a baja potencia. Algunas de estas ideas son conocidas hace ya muchos años, pese a lo cual se han hecho pocos progresos. Los grandes productores comerciales no han estado, ni están aún, interesados en que esta tecnología avance. Sencillamente, no ofrece suficiente incentivo económico. En cambio, algunos países en desarrollo se han percatado de que estas nuevas tecnologías les ofrecerían importantes ventajas y, en consecuencia, han iniciado amplios programas de investigación encaminados a la creación de nuevos generadores de radionucleidos para uso clínico en hospitales, mediante el empleo de sus propios reactores de investigación nuclear. Este ejemplo demuestra que las tecnologías apropiadas que interesan únicamente a los países en desarrollo, o que sólo tienen un interés marginal para un país tecnológico, deben ser creadas por los países que las necesitan. Afortunadamente, en tecnología de generadores, hay algunos países en desarrollo avanzados que encabezan la investigación en esta esfera y que comparten sus experiencias y resultados con centros de países menos desarrollados.

Estas reflexiones acerca de los problemas que entraña la fabricación de radiofármacos en los países en desarrollo indican que, a corto y a mediano plazo, parece probable que habrá que importar la mayor parte de estos productos. También cabe suponer sin lugar a dudas que las aplicaciones basadas en el RIA seguirán multiplicándose, en particular con el fomento del OIEA, habida cuenta de que existen problemas cruciales en esta esfera que, quizás más que los de ninguna otra, requieren la cooperación internacional. Es mucho más arriesgado tratar de hacer un pronóstico tocante a la obtención de imágenes por medios nucleares, ya que esta técnica exige mucho capital y aún está experimentando un acelerado desarrollo.

