

**Organismo Internacional de Energía Atómica**



**ARCAL**



**Acuerdos regionales cooperativos  
para la promoción de la ciencia  
y la tecnología nucleares  
en América Latina**

**Fase I**

# Índice

|   |    |
|---|----|
| Introducción .....  | 1  |
| Protección radiológica .....  | 4  |
| Instrumentación nuclear .....   | 8  |
| Reproducción animal .....   | 11 |
| Técnicas analíticas nucleares .....   | 15 |
| Reactores de investigación .....  | 18 |
| La irradiación de alimentos: una contribución a<br>la economía y la salud ..... | 23 |
| Mejoramiento genético de los cereales utilizando<br>técnicas nucleares .....    | 26 |
| Radioinmunoanálisis de hormonas tiroideas .....                                 | 31 |
| Información nuclear .....   | 34 |
| Exploración geotérmica .....  | 37 |
| Aplicación de técnicas isotópicas en hidrología .....                           | 40 |
| Lucha contra insectos y plagas .....  | 42 |
| Orientaciones futuras .....   | 44 |

# Introducción

**D**ía tras día, en hospitales, industrias, explotaciones agrícolas y universidades del mundo entero resultan evidentes las ventajas que emanan de la utilización de la tecnología nuclear con fines pacíficos. Al desarrollarse la tecnología nuclear, la utilidad que se deriva de sus aplicaciones ha seguido un rumbo conforme.

El OIEA fomenta la utilización de la energía nuclear en el marco de los esfuerzos nacionales y regionales realizados para favorecer un desarrollo económico y social sostenible. En la región de América Latina la tecnología nuclear se aplica en numerosas esferas y ha ayudado a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la región en diversos ámbitos.

Ante la gran variedad de aplicaciones que ha tenido desde mediados de este siglo, se reconoció que la tecnología nuclear podría utilizarse para resolver problemas propios de los países en desarrollo con inclusión de aquellos de América Latina. En lo que respecta a la agricultura y la salud, y en menor medida a la industria, la hidrología y otras esferas las técnicas nucleares pueden contribuir a resolver problemas de índole similar que se presentan en la región.

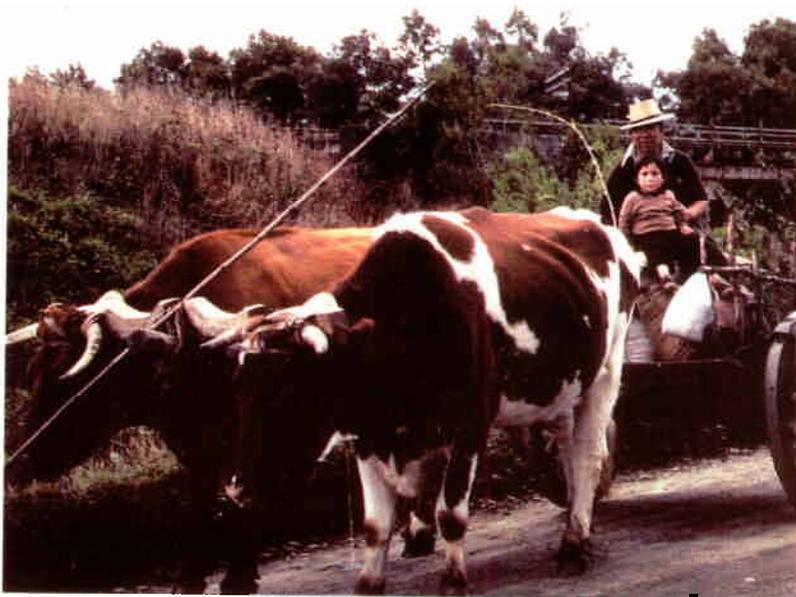
Durante decenios el OIEA ha proporcionado asistencia técnica a los países en desarrollo de la región. La Argentina, el Brasil y México son los países más avanzados en la esfera de la energía nuclear, mientras países tales como Colombia, Cuba, Chile, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela han alcanzado un nivel intermedio. Países más pequeños, tales como Costa Rica y Guatemala, están comenzando con gran entusiasmo a desarrollar programas para introducir la utilización de la tecnología nuclear.

En los últimos años las actividades regionales han adquirido considerable importancia en América Latina, en particular en aquellas esferas de interés común tales como la información nuclear, la protección radiológica y el mantenimiento de instrumentos utilizados con fines de investigación nuclear y estudios conexos. Estos proyectos, que aprovechan en gran medida las infraestructuras instaladas en el marco de los proyectos nacionales de asistencia técnica apoyados por el Organismo, le otorgan gran importancia a la capacitación.

Numerosos programas de capacitación, talleres y seminarios se han llevado a cabo en la región, muchos de ellos en renombrados centros nacionales y en un idioma que es común a la mayoría de la región. Mucha atención se le ha otorgado a la obtención de un mejor aprovechamiento de instalaciones y equipo existentes.

Las actividades regionales aportan diversas ventajas para los países de la región. Permiten que se utilicen recursos valiosos de manera más eficiente: los expertos pueden asesorar a las contrapartes de diversos países en el curso de una misma misión, los costos de equipo pueden ser más económicos si éste se adquiere en grandes cantidades para diversos laboratorios y, a nivel regional, la capacitación puede organizarse a más bajo costo y en la lengua materna de los participantes. La planificación regional activa la autosuficiencia respecto de disciplinas científicas y tecnologías adecuadas al combinar los recursos intelectuales y los físicos.

A comienzos del decenio de 1980, diversos países de América Latina decidieron aunar sus esfuerzos con respecto de aquellas actividades



específicas en que las aplicaciones nucleares alcanzaran más altos niveles de aplicación en la región. El programa ARCAL fue concebido como primer paso crucial en un esfuerzo para promover tal tipo de cooperación e integración regionales en la esfera nuclear y para resolver problemas tecnológicos comunes a América Latina.

El ARCAL (Arreglos Regionales Cooperativos para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina) cuenta en la actualidad con 15 participantes (Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, Ecuador, Guatemala, México, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela) y ha concluido su primera fase quinquenal (1985-1989).

Los proyectos se ajustan a los intereses regionales en materia de aplicaciones básicas de técnicas nucleares, investigación, técnicas de producción de isótopos o analíticas, o con respecto a la aplicación de técnicas seleccionadas en esferas específicas tales como la agricultura y la medicina.

El programa ARCAL se basa en el concepto de colaboración entre los países participantes. La coordinación y cooperación entre los países e instituciones en el programa han mejorado de manera continuada. El programa ha proporcionado un estímulo para las comunicaciones dentro de la región en virtud de un intercambio de experiencia y conocimientos técnicos. La

cooperación técnica y económica entre países en desarrollo (CTPD/CEPD) se ha realizado gracias a la participación en el programa de los países más grandes de la región. La ejecución de los proyectos ha dado lugar a una combinación beneficiosa de actividades de asistencia técnica y contratos de investigación patrocinados por el Organismo. Países donantes que no pertenecen a la región también participan en el ARCAL mediante el financiamiento de estos proyectos regionales.

Al compartir la infraestructura disponible, incluyendo los laboratorios,

equipo y expertos, el ARCAL ha estimulado esfuerzos regionales que han dado lugar a cierto financiamiento regional para gastos de actividades de proyectos. En el marco del programa ARCAL el OIEA desempeña un papel de consultor y órgano de ejecución a fin de asegurar que no se registren duplicaciones con los proyectos bilaterales de asistencia técnica del Organismo y que los recursos se utilicen con eficacia.

El Organismo también ayuda a encontrar el financiamiento necesario para la realización de los proyectos ya sea encauzando sus propios recursos u obteniendo recursos de otros países o instituciones. Es así que, por ejemplo, el Canadá, la Comunidad Económica Europea, los Estados Unidos de América, Francia, Italia, la República Federal de Alemania y Suecia han apoyado proyectos del ARCAL. A pesar de la difícil situación económica imperante en América Latina, los propios países miembros incrementan año a año las contribuciones en especie al ARCAL.

Los Gobiernos participantes, contando con el asesoramiento proporcionado por el Organismo, han otorgado prioridad a los proyectos ARCAL. Los países formularon los objetivos y planes de trabajo de cada proyecto por un periodo de tres a cinco años (corto plazo), y se sigue muy de cerca la marcha de los mismos. De manera periódica, los coordinadores de proyectos (uno por cada proyecto de cada miembro del ARCAL) se reúnen a fin de examinar y evaluar el avance del proyecto. Durante dichas

reuniones se formulan actividades futuras incluyendo así un elemento de flexibilidad necesario para que el proyecto pueda adaptarse a nuevas situaciones y entornos.

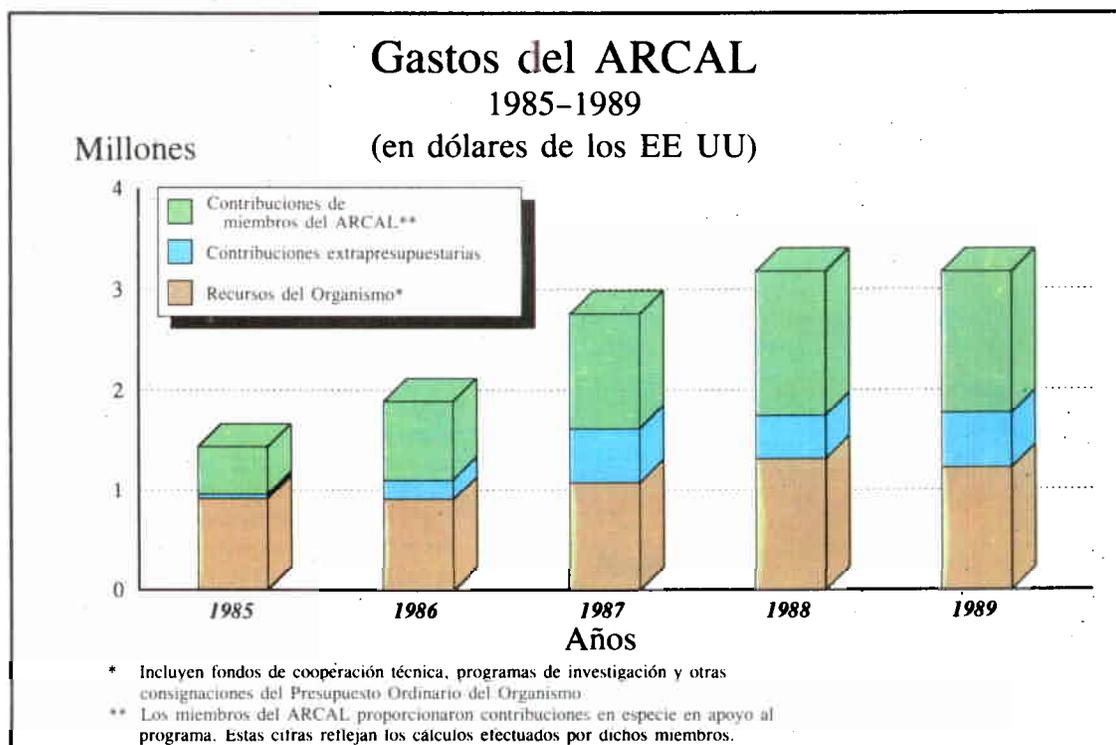
Esta planificación periódica a corto plazo incluye actividades específicas y es sumamente detallada. Además, se celebra anualmente una reunión de Coordinadores nacionales del ARCAL (un coordinador designado por cada país miembro del ARCAL) a fin de examinar los proyectos ARCAL, así como nuevas propuestas de proyectos. Durante dichas reuniones se cuida de que no se produzcan duplicaciones en las actividades de diferentes proyectos y se realiza un rápido análisis de los costos. Dichas reuniones también fortalecen los vínculos tendientes a la integración de los países y ayudan a consolidar los instrumentos existentes de colaboración.

Dichos arreglos han permitido que el programa sea versátil sin dejar de perseguir objetivos específicos con un mínimo de rigidez de organización. El ARCAL fomenta el avance tecnológico permitiendo que los países desarrollen versiones tecnológicas mejor adaptadas a sus propias necesidades y condiciones, en esferas en que los países desarrollados aún están innovando (aplicaciones de la tecnología nuclear).

El principal objetivo de los programas regionales como el ARCAL es ayudar a los Estados Miembros a conseguir la capacidad de valerse por sí mismos en materia de aplicaciones de ciencia y tecnología nucleares mediante la ejecución de proyectos regionales.

En el caso de estos proyectos se otorga gran importancia al hecho de responder a las prioridades de desarrollo de los Estados Miembros y contribuir asimismo a la creación de instituciones, revistiendo ambos aspectos crucial importancia en América Latina, región en la que muchos países disponen de recursos limitados. Además, se ha otorgado mucha atención al desarrollo de los recursos humanos, abarcando cuestiones relativas a la planificación, gestión y evaluación de los recursos humanos de un país o de una institución más allá de la mera adquisición de cualificaciones técnicas. Esta filosofía, combinada con una ejecución pragmática, ha permitido asegurar el enorme éxito del ARCAL en sus primeros cinco años.

Este folleto tiene el propósito de presentar información a los lectores respecto de la primera fase del programa ARCAL en América Latina y contiene descripciones de proyectos en las esferas de la agricultura, la medicina, la industria y la energía.



# Protección radiológica

**L**a aplicación de medidas apropiadas de protección radiológica es fundamental para la utilización pacífica de la energía nuclear. En la región de América Latina éstas constituyeron el núcleo del primer esfuerzo de colaboración en el marco del programa ARCAL.

En los países de América Latina se emplean con fines de diagnóstico y terapia gran número de aparatos que producen radiaciones, así como también fuentes radiactivas selladas y abiertas. Su uso refleja un crecimiento sustancial de las modernas instalaciones médicas que permiten incrementar la atención médica local impartida a la población. No obstante, sin las apropiadas medidas de protección radiológica, esos sistemas pueden crear problemas específicos para trabajadores profesionales y otros individuos en general.

Aunque en general existen en toda la región arreglos para el uso seguro de equipo y fuentes,

en la práctica se registran frecuentemente grandes discrepancias. Resulta obvio de que es deseable asegurar que la adquisición y operación de instalaciones en cada país, que entrañen el uso de radiaciones ionizantes, sean objeto de exámenes, concesiones de licencia e inspecciones apropiados a fin de mantener su seguridad y fiabilidad.

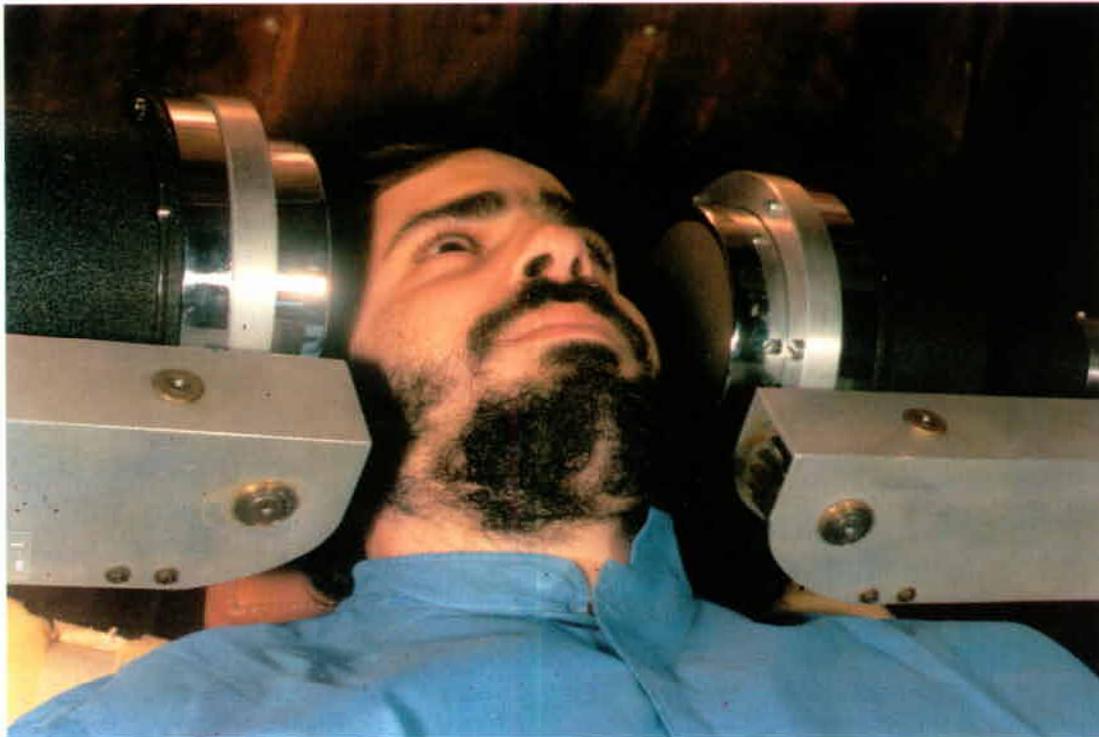
La armonización y normalización regionales de procedimientos de protección radiológica en instalaciones industriales y médicas en las que se utilizan fuentes de radiaciones ionizantes proporcionarían beneficios importantes para los países de la región. El proyecto ARCAL de protección radiológica se inició a fin de avanzar hacia dicho objetivo. Específicamente, el proyecto se propone mejorar la seguridad radiológica en América Latina por medio de una apropiada capacitación de profesionales e intercambios de información y experiencia en el terreno.

Misiones de experto, cursos y capacitación individual, reuniones técnicas para intercambiar información científica y la adquisición de equipo de protección radiológica forman parte de los mecanismos que se introdujeron para realizar el proyecto.

Desde el inicio de este proyecto se ha registrado el mayor interés por utilizar los servicios de expertos procedentes de la región. Entre 1986 y 1989 se cuadru-

*Se efectúan intercomparaciones a fin de optimizar los servicios dosimétricos en Lima, Perú.*





*Se utilizan contadores de radiactividad corporal para vigilar la dosimetría interna del personal en el Brasil. (Foto: CNEN)*

plicó el número de profesionales de países de América Latina que participan en el proyecto. Se cuenta con que esta tendencia siga reflejando el papel catalítico del Organismo en la promoción de la cooperación técnica entre Estados Miembros en desarrollo a través de una mayor actividad de reunión y difusión de conocimientos y una estrecha comunicación entre los científicos de la región.

Al concluir la primera fase del ARCAL la región dispone de una mayor reserva de personal capacitado para satisfacer los requerimientos dinámicos ocasionados por un continuado incremento en la aplicación de materiales radiactivos y radiaciones ionizantes. Unos 125 profesionales de la región asistieron a cursos de capacitación interregionales sobre protección radiológica y seguridad nuclear, 200 profesionales asistieron a cursos regionales especializados y 450 profesionales a cursos nacionales.

En 1985 las actividades del proyecto se iniciaron con el establecimiento de talleres sobre protección radiológica a fin de determinar las necesidades de la región en materia de seguridad radiológica. En un taller subsiguiente se efectuó el análisis y la evaluación técnica de objetivos

del proyecto en marcha y se coordinaron las actividades futuras en el marco del proyecto. En particular se adoptaron medidas para determinar la realización de estudios coordinados de investigación en la esfera de la protección radiológica. Estos talleres se celebraron anualmente a fin de asegurar una continua coordinación de actividades y una elevada eficacia del proyecto.

Un curso interregional de alto nivel sobre protección radiológica y seguridad nuclear, el único de este tipo en idioma español, brinda anualmente capacitación para unos 25 profesionales de la región. El curso constituye el medio más importante de que dispone la región para capacitar profesionales de alto nivel en materia de seguridad radiológica.

Las actividades que se llevan a cabo en el marco de un estudio coordinado de investigación procuran resolver determinados problemas de protección radiológica comunes a diversos países de la región. Tales actividades son coordinadas por aquellos países que tienen especial interés en una esfera específica y que, de un modo u otro, ya han realizado esfuerzos para resolver dichos problemas. Chile, por ejemplo, coordinó y realizó en 1985 y 1986 estudios de inter-

comparación de dosímetros individuales para el personal. Los análisis de intercomparación se concluyeron positivamente en 1987. Otros ejemplos son los siguientes:

- Al iniciarse la primer fase del ARCAL se reconoció que era necesario efectuar una recopilación de las leyes y reglamentos sobre protección radiológica así como una evaluación de la situación jurídica normativa en América Latina. El Ecuador coordinó esta actividad con la ayuda de un experto de la región y del OIEA. Se analizó información procedente de 11 países. Los resultados obtenidos revelaron que siete países no disponían del marco jurídico básico, y que solo cuatro países disponían de una estructura de reglamentación adecuada para ejercer funciones de vigilancia completa tales como la concesión de licencias y la realización de inspecciones de actividades asociadas con la utilización de radiaciones ionizantes.
- En el transcurso del segundo año se formuló una propuesta para establecer un estudio de investigación sobre las causas de accidentes de radiografía gamma industrial en la región. El Organismo coordinó un análisis de exposiciones anormales de radiografía gamma industrial en que se examinaron 18 accidentes que ocurrieron en ocho países. Las conclusiones alcanzadas en 1987 indicaron que la mayoría de los accidentes considerados podrían haberse evitado si se hubieran adoptado medidas adecuadas de protección radiológica, inclusive el establecimiento de

reglamentos y mecanismos de vigilancia apropiados en el momento oportuno.

- También se inició al comienzo del programa un trabajo coordinado para estimar las dosis recibidas por pacientes en exámenes fluoroscópicos, que usan equipo de rayos X durante un período prolongado de tiempo. El Brasil coordinó esa actividad y siete países aceptaron suministrar datos.
- Guatemala coordinó la compilación de una lista de todos los cursos que se realizan en la región específicamente destinados a la protección radiológica a fin de identificar las posibilidades de capacitación disponibles en la región. En 1988 concluyó la labor en esta esfera.
- Se llevó a cabo un estudio coordinado dirigido a identificar las necesidades para asegurar la adecuada puesta en ejecución de las Convenciones sobre pronta notificación y sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica dentro de la región. Chile coordinó esta actividad que finalizó en 1990. El estudio permitió concluir que la mayoría de los países de la región poseen la capacidad de detectar un accidente radiológico o nuclear; todos disponen de sistemas adecuados de comunicación y a pesar de que existe la voluntad de cooperar en tales eventos, son necesarios acuerdos formales bilaterales y multilaterales así como un número suficiente de médicos especialistas capacitados en materia de radiaciones.



*Calibración  
de dosímetros en  
el Brasil.  
(Foto: CNEN)*



*La experiencia práctica constituye un componente importante en la capacitación en materia de protección radiológica en la región.*

- El accidente de Chernobil dio lugar a debates en la región respecto del problema de si se debería aceptar o rechazar productos alimenticios procedentes del hemisferio norte que pudieran haber sido contaminados. La Argentina coordinó una actividad con el objetivo de establecer niveles de intervención para alimentos contaminados. Un documento distribuido por el país coordinador en el marco de un taller contenía una propuesta consistente en utilizar los criterios adoptados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y en la que se presentaban niveles de intervención para alimentos contaminados tales como fueron calculados para la Argentina. Se acordó adoptar el criterio de la OMS y repetir los cálculos realizados por la Argentina utilizando los valores de cada uno de los países participantes. En 1990 se evaluarán los resultados de esta actividad de investigación.

Otras actividades en el marco del proyecto incluyeron la participación de expertos de la región en reuniones científicas, reuniones de grupos asesores y comités técnicos del Organismo para obtener la mayor información posible sobre las actividades de protección radiológica del Organismo y divulgar los puntos de vista de la región en esta esfera. Más expertos de la región están emprendiendo misiones dentro del marco de proyectos de cooperación técnica, hecho que

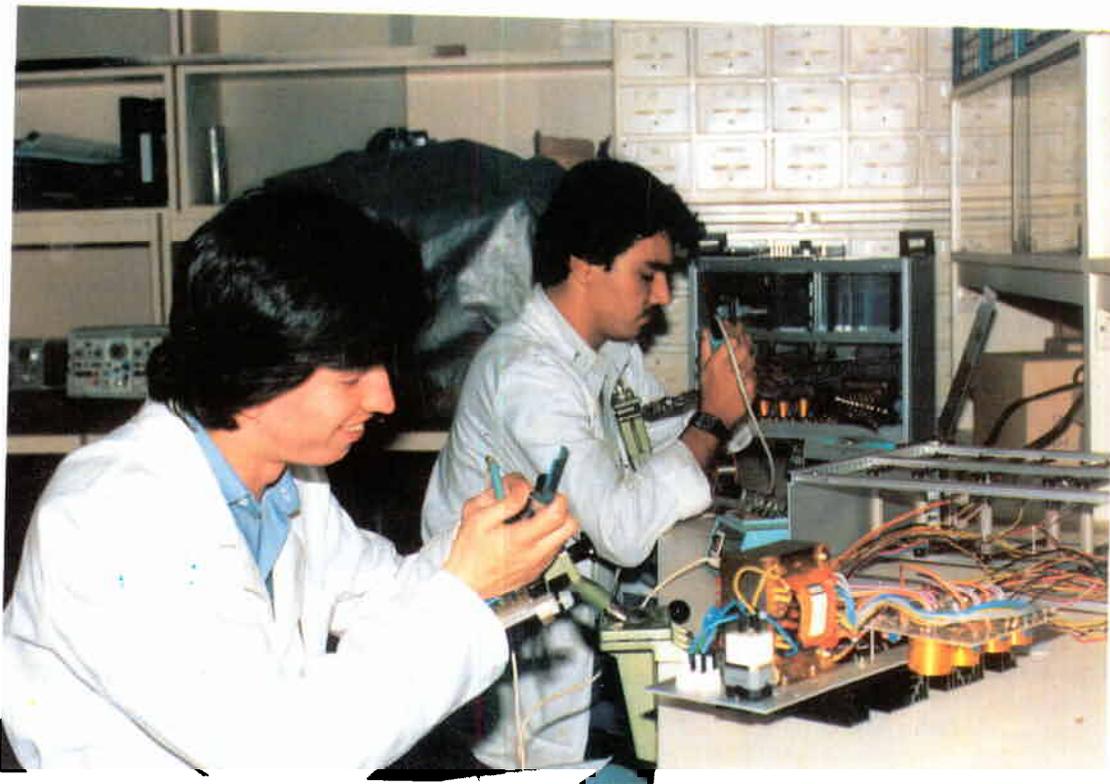
refleja un incremento importante en la participación de los países involucrados.

Durante la segunda fase del programa ARCAL las actividades se concentran en incrementar la capacidad de respuesta de los Estados Miembros de la región con respecto a la seguridad radiológica, brindando particular importancia a la capacitación, la asistencia técnica y el desarrollo de estudios coordinados de investigación.

La asistencia técnica brindada a la región seguirá concentrándose esencialmente en una amplia capacitación del personal. Además, los países organizarán cursos nacionales de capacitación y especialización en la materia, que serán respaldados, si fuera necesario, por especialistas de la región dentro del marco del programa ARCAL. Se brindará especial atención a los estudios coordinados de investigación que se centrarán en problemas auténticos comunes a varios países de la región.

El Organismo seguirá brindando apoyo a expertos de la región para que participen en las reuniones científicas, reuniones de grupos asesores y comités técnicos del Organismo a fin de mantener un intercambio efectivo de información y experiencia entre los expertos de la región y el Organismo.

# Instrumentación nuclear



*En Colombia se están llevando a cabo actividades de investigación y desarrollo en material de instrumentación nuclear.*

**C**asi todos los países de América Latina cuentan con programas en diversas esferas de las ciencias nucleares aplicadas. Por regla general, estos programas están orientados hacia actividades prácticas, experimentales o de campo que requieren el empleo de instrumentos nucleares específicos. Este equipo puede ser sencillo (como en el caso de los contadores de

radiación portátiles que se usan para la prospección de uranio) o muy avanzado (analizadores multicanal, cámaras gamma).

El desarrollo extremadamente rápido del sector de la electrónica y de los instrumentos y la creciente introducción de microprocesadores en el equipo nuclear, requieren personal alta-

mente cualificado y bien capacitado para mantener los instrumentos en condiciones óptimas de funcionamiento.

Los países de la región han comprendido la necesidad de contar con laboratorios de instrumentación nuclear altamente desarrollados como actividad de apoyo esencial. Sin embargo, con frecuencia el equipo de ensayo es inadecuado, hay escasez de personal capacitado, y las dificultades que se plantean para obtener las piezas de repuesto y los componentes necesarios suelen obstaculizar la organización eficaz de los laboratorios de instrumentación nacionales.

Las actividades regionales en materia de instrumentación nuclear que se llevaron a cabo a comienzos del decenio de 1980 demostraron la necesidad de aumentar la cooperación regional en dicha esfera. En aquella época la mayoría de los países contaban con por lo menos un laboratorio de electrónica nuclear, aunque se registraban diferencias tanto en el nivel profesional del personal involucrado como del equipo.

En un esfuerzo por enfrentar dichos problemas, se inició a comienzos del programa ARCAL un proyecto de instrumentación nuclear. El objetivo era establecer y desarrollar una capacidad nacional y regional creciente para manipular, mantener, reparar, diseñar y construir instrumentos nucleares mediante la creación de centros nacionales de instrumentación y electrónica nucleares. Se estipuló que dichos centros deberían mantener estrechos vínculos con laboratorios similares de la región.

La atención del proyecto se centra en tres componentes:

- **Mantenimiento y revisión de instrumentos nucleares:** un requisito esencial en países en los que o bien no existe o no es adecuada la asistencia proporcionada por los fabricantes.
- **Capacitación:** esencial en una esfera que presenta una extrema celeridad de desarrollo y la necesidad continua de mejorar el conocimiento y experiencia del personal.
- **Piezas de repuesto:** una cuestión de gran importancia en países en desarrollo de América Latina debido a la escasez de divisas. La compleja estructura administrativa de la región trae aparejadas largas demoras en recibir incluso las más pequeñas partidas procedentes del exterior. El mismo problema se registra en lo referente a la literatura técnica y los manuales de mantenimiento.

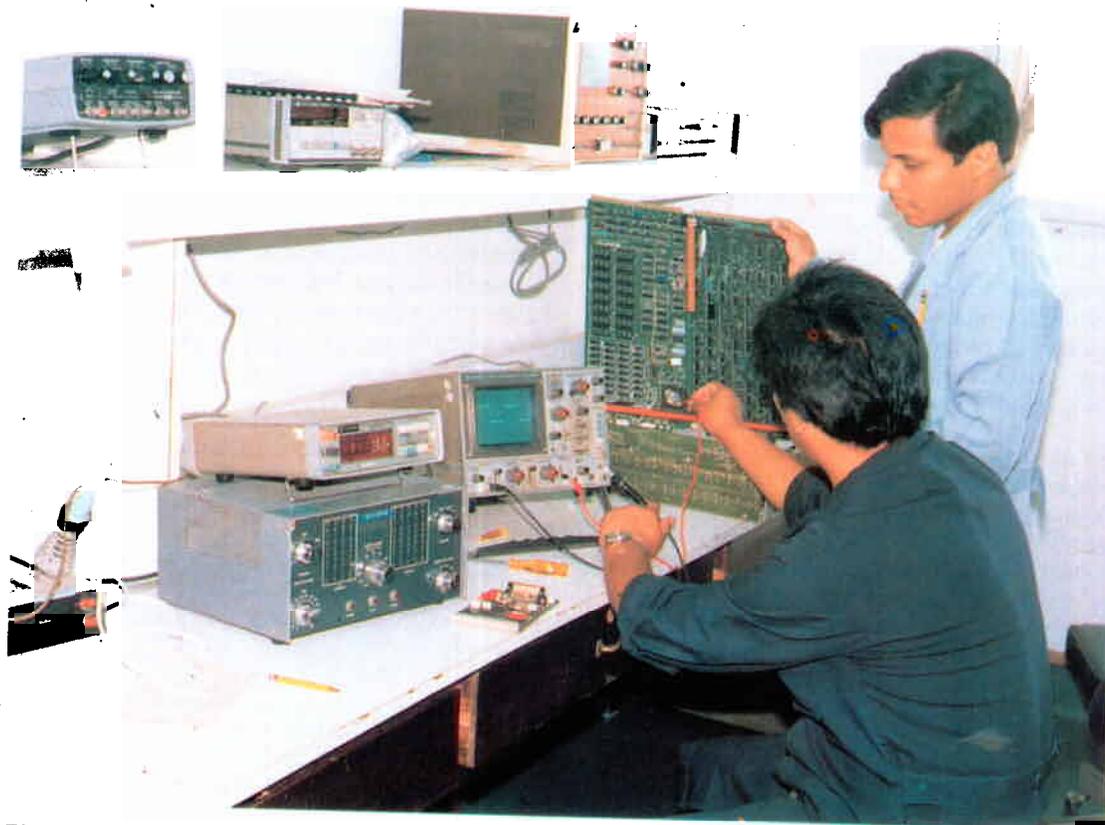
Contrastando con la desesperada situación que imperaba cinco años atrás, en la actualidad cada país del ARCAL dispone de por lo menos un laboratorio apto para el servicio de instrumentos nucleares. El grado de desarrollo de la región indica que, en la mayoría de los casos, aun tratándose de instrumentos complejos, el personal nacional puede identificar las fallas; no obstante, no siempre se puede reparar el equipo en razón de que los componentes electrónicos muy rara vez se encuentran disponibles en el propio país.

Los laboratorios de mantenimiento en los países del ARCAL se encuentran en diferentes niveles en lo referente a conocimientos técnicos, personal profesional y equipo necesario. Países como México y la Argentina disponen de ingenieros con experiencia y laboratorios apropiados. Pero en otros países, como Bolivia y Costa Rica, es aún muy escaso el personal titulado y los laboratorios no están totalmente equipados.

La capacitación brindada a diversos niveles sobre temas específicos ha ayudado considerablemente a incrementar el nivel técnico del personal de instrumentación y electrónica en los países del ARCAL. Al iniciarse el programa, el nivel de la capacitación tendía a ser básico, pero en el transcurso de los últimos años ha alcanzado niveles mucho más elevados. Se han realizado experimentos con nuevas formas de capacitación dedicadas a cuestiones tales como el montaje de instrumentos complejos, la evaluación y ensayo de equipo nuclear o instruir a ingenieros electrónicos para que sean capaces de interpretar espectros y puedan llegar a conclusiones respecto de las deficiencias de la configuración experimental.

El Organismo también recopila información respecto de especificaciones y disponibilidad de instrumentos de fabricantes comerciales que puedan usarse en proyectos. Piezas de repuesto, instalaciones de servicio, plazos de entrega y otros detalles se almacenan en un banco de datos técnicos para el uso de funcionarios que instruyen a técnicos locales en tareas de desarrollo y reparación. En el marco del proyecto, el Organismo evalúa instrumentos y verifica su funcionamiento en el taller de electrónica de sus Laboratorios de Seibersdorf, cerca de Viena.

Los servicios de repuesto, dirigidos desde Viena, han introducido una nueva dimensión en materia de cooperación regional. Las piezas de repuesto se entregan con un mínimo de compli-



*El Laboratorio de mantenimiento de instrumentos en Lima (Perú) proporciona servicios de mantenimiento para equipo como este circuito impreso de analizador multicanal.*

caciones administrativas y sin demora a los proyectos de países del ARCAL. En vista del alto interés y de los limitados recursos financieros se fijó un límite máximo de 200 dólares de los Estados Unidos para los costos de cada pieza de repuesto.

También se estableció una base de datos sobre manuales de mantenimiento para instrumentos nucleares que incluye contribuciones de todos los países del ARCAL y que se actualiza anualmente. Esta actividad permite realizar una búsqueda efectiva para un manual de mantenimiento en cualquier lugar de la región que abarca el programa ARCAL.

El Organismo proyecta establecer una Red de Instrumentación Nuclear (NIN) a fin de coordinar esfuerzos y reducir la entrega de equipo defectuoso a Estados Miembros en el marco de

proyectos de cooperación técnica. En la actualidad se estima que el 25% de dicho equipo es defectuoso. La Red debería reducir esta cantidad a menos del 10% en el espacio de tres años y debería ser muy provechosa para los países de América Latina.

Actividades futuras harán hincapié en el establecimiento de laboratorios nacionales y regionales a fin de proporcionar servicios de mantenimiento en la región.

Durante el período de 1990 a 1992 la atención se dirigirá hacia nuevos temas resultantes del progreso en la esfera de la instrumentación nuclear. Estos incluirán el empleo de procesadores y computadoras de mesa como parte integrante de experimentos nucleares, interfaz, y desarrollo de soportes lógicos (software) apropiados, además de una capacitación intensiva.

# Reproducción animal

**A**mérica Latina es una región dotada de ingentes y variados recursos animales, constituidos no solo por las especies domesticadas más tradicionales como el ganado bovino, ovino y caprino, sino también por especies autóctonas como la llama, la alpaca y la vicuña, además de especies introducidas, como el búfalo. La producción de carne, leche, lana y cuero, además del poder de tracción de estos animales reviste importancia para todos los países de la región. Estos animales proporcionan alimento y vestido para la población, considerables ingresos por concepto de exportación y, tal vez lo más importante de todo, empleo e ingresos para una elevada proporción de los habitantes más pobres de las zonas rurales y del altiplano.

Los tipos de ecosistemas en los que se crían los animales domesticados en América Latina también varían ampliamente: pastizales que van de tropicales a templados, extensiones semiáridas o desérticas de monte bajo, zonas de pastizales mejorados, desiertos y selvas. Sin embargo, en la mayoría de los casos los animales se crían en zonas en que se hallan sometidos a sobrecargas funcionales diversas como las condiciones climáticas extremas, la elevada humedad, los pastizales en los que su alimento depende de las estaciones y tiene bajo valor nutritivo, y la escasez de agua. En consecuencia no es sorprendente que la eficiencia de la producción ganadera de la región sea invariablemente baja y que, por lo tanto, se reduzca mucho la disponibilidad de productos de origen animal utilizables por el ser humano, así como los consiguientes ingresos.

Una de las maneras más eficientes de elevar la productividad ganadera es la de mejorar el

comportamiento de reproducción. En gran medida, esto puede lograrse reduciendo el período de tiempo que transcurre desde el nacimiento de un animal hasta el de su primer y sucesivos descendientes —el intervalo entre generaciones— que es excepcionalmente prolongado en lo que respecta al ganado de las explotaciones agrícolas de la mayoría de los países de América Latina. Ahora bien, la reducción del intervalo entre generaciones requiere un estudio a fondo de la naturaleza de los problemas de reproducción que con más frecuencia se presentan, sus causas, y las posibles estrategias que pueden aplicarse para paliar esos problemas al nivel de las explotaciones pequeñas.

A la luz de estas cuestiones, el Organismo, en cooperación con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), puso en marcha en 1984 un programa coordinado de investigación para mejorar la gestión de reproducción del ganado productor de leche, carne y fibra en la región de América Latina. En el marco del programa se utilizaron técnicas de radioinmunoanálisis (RIA) a fin de complementar las medidas tradicionales para mejorar la eficacia de la reproducción. En 1985 se estableció un proyecto ampliado que involucraba la colaboración del ARCAL. El programa coordinado de investigación se integró a proyectos nacionales de cooperación técnica en reproducción animal.

En 1988, el último año de esta iniciativa de colaboración, el programa ARCAL comprendía 20 contratos de investigación, tres acuerdos de investigación y 14 proyectos de cooperación técnica con México, Guatemala, El Salvador,



*Expertos de cooperación técnica en reproducción de ganado visitan un proyecto del ARCAL dedicado a camélidos en La Raya, Nr. Cuzco (Perú). (Foto: Urquieta)*

Costa Rica, Panamá, Cuba, Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia, Brasil, Chile, Argentina y Uruguay, así como con los Estados Unidos de América. Los objetivos generales de este programa consistían en caracterizar y mejorar la gestión de reproducción del ganado productor de leche, carne y fibra criado en las diversas condiciones de medio ambiente y de gestión existentes en la región de América Latina. A fin de lograr las metas de investigación, se alentó a los institutos colaborantes a que adopten, allí donde fuese apropiado, un método de tres etapas para sus programas de investigación:

- definición del sistema de producción pecuaria y determinación de la eficacia de producción y reproducción de animales en las condiciones del medio ambiente, de nutrición y de gestión existentes;
- determinación de las principales causas del bajo rendimiento de reproducción en explotaciones agropecuarias típicas; y

- desarrollo de soluciones viables y rentables basadas en modificaciones de los sistemas de gestión existentes en lugar de recurrir a soluciones importadas, que requieran desembolsos en dólares.

Cuando se inició el programa en 1984, había muy poca información disponible sobre el rendimiento de la productividad y la reproductividad del ganado de la región. El conocimiento de las verdaderas causas de la baja productividad eran igualmente muy escasos, y muchas veces la culpa se atribuía a los propios animales en casos en que una gestión de nivel inferior y una pobre nutrición constituían las verdaderas limitaciones prevalecientes.

En lo referente a la identificación de las verdaderas limitaciones del rendimiento reproductor, las mediciones de niveles de hormonas de la reproducción por medio del radioinmunoanálisis, y en particular de los niveles de progesterona en la sangre y en la leche, resultaron

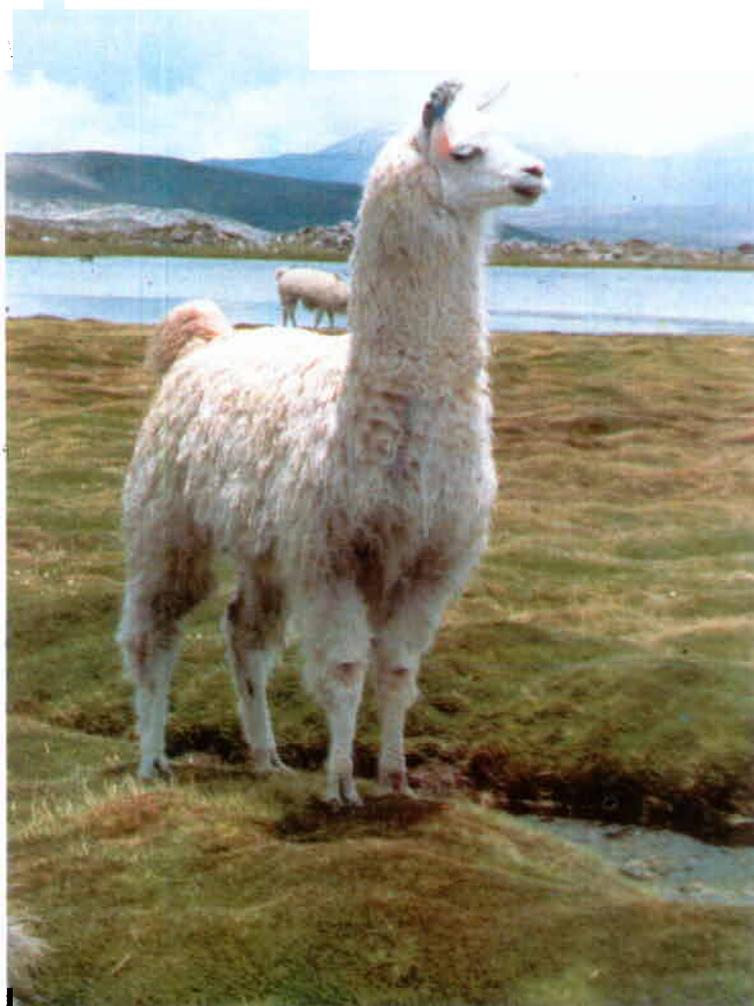
ser instrumentos complementarios de elevada eficacia y sensibilidad. De este modo, uno de los principales logros del programa fue el establecimiento de laboratorios RIA viables en cada uno de los países participantes, hecho que los ponía en condiciones de efectuar mediciones de concentraciones de progesterona en muestras de importancia para el programa, y de otras hormonas y metabolitos en investigaciones no relacionadas con el programa.

Los laboratorios RIA se establecieron proporcionando a los científicos involucrados el equipo apropiado, becas de capacitación, servicios de experto y, en el transcurso de los últimos tres años del programa, juegos (kits) de RIA estandarizados proporcionados por vías del Laboratorio de Seibersdorf del OIEA. Estos juegos fueron desarrollados a fin de proporcionar ensayos simples, sensitivos y fiables a los laboratorios recipientes y a fin de permitir que los investigadores concentren su tiempo y esfuerzos en resolver los problemas en el terreno en lugar de desarrollar técnicas analíticas. El exitoso desarrollo y eficaz distribución de estos juegos a los institutos participantes y el más reciente desarrollo de un servicio externo de control de calidad, representan importantes logros del programa.

Otro de los grandes logros pudo verificarse en la amplitud con la que el programa estimuló trabajos de investigación en reproducción animal que no se hallaban necesariamente vinculados de manera directa a las actividades del OIEA. La influencia catalizadora del programa se mencionó en numerosos informes de investigación, publicaciones científicas y artículos de divulgación nacionales e internacionales.

El programa muestra los beneficios proporcionados por el criterio de red nacional al igual que la exitosa integración de proyectos de cooperación técnica nacionales con los esfuerzos coordinados de investigación del Organismo. Por consiguiente, todo el personal de la contraparte del programa se benefició al participar en un seminario regional para América Latina en Maracay, Venezuela, en 1987 y en dos cursos de capacitación celebrados en Lima, Perú, en 1984 y en Maracay, Venezuela en 1986.

El programa también fue provechoso en lo que respecta a la capacitación del personal de la contraparte en materia de técnicas nucleares de laboratorio que complementan los métodos tradicionales para determinar el rendimiento reproductor del ganado. Al mismo tiempo se proporcionó un criterio científico para la determinación de las limitaciones de la reproducción.



*La llama es un animal que se encuentra en diversas regiones de América Latina. (Foto: Urquieta)*

Las conclusiones que se desprenden del trabajo realizado indican que, empleadas en conjunción con los registros de reproducción y el examen de estructuras ováricas y uterinas, las mediciones de progesterona permiten a los investigadores:

- caracterizar la edad y el peso del ganado en el momento de la pubertad;
- evaluar la capacidad del explotador para determinar el momento en que el ganado está pronto para la reproducción y para determinar la exactitud y frecuencia de los períodos de detección;
- evaluar la capacidad técnica del inseminador, la calidad del semen y el ritmo del cubrimiento artificial y natural;
- evaluar la capacidad de los veterinarios para definir estructuras anatómicas y patológicas y para diagnosticar la preñez;
- determinar el ciclo estacional de la reproducción; e

- investigar la utilidad de las medidas tendientes a estimular o sincronizar la actividad ovárica.

Se logró establecer que la principal limitación a la eficacia de reproducción del ganado en establecimientos agropecuarios de América Latina es el prolongado intervalo postparto. Según los investigadores los factores principales del bajo rendimiento de reproducción son la gestión, la nutrición, los efectos directos del medio ambiente, las cuestiones genéticas y el control de enfermedades. La gestión y la nutrición representaron el 95% de los factores limitativos.

Los logros científicos del programa se presentan en detalle en una publicación del OIEA producida en 1990 titulada "Livestock Reproduction in Latin America" (La reproducción del ganado en América Latina). Esta publicación abarca los sistemas predominantes de producción pecuaria: ganado lechero (intensivo y de aprovechamiento mixto); bovino para carne; ovejas y cabras, y camélidos. Se incluyen rese-

ñas de literatura científica con el propósito de facilitar al lector la ubicación de trabajos de investigación en el contexto apropiado. También se citan estadísticas nacionales y regionales relativas a parámetros de producción o reproducción. Esta publicación es la primera en combinar información sobre reproducción ganadera a nivel regional. Un nuevo programa dedicado al estudio de las interacciones entre nutrición y reproducción en el ganado se inició en 1990 en colaboración con muchos de los institutos y participantes involucrados en la primera fase del proyecto ARCAL.



*Un laboratorio de RIA completo —un juego FAO/OIEA para la medición de progesterona en la leche, un contador gamma de pozo único, un bastidor de decantación y pipetas.*

# Técnicas analíticas nucleares

**L**as técnicas analíticas nucleares y otras técnicas microanalíticas se emplean para determinar oligoelementos en productos del medio ambiente, geológicos y biológicos. En todos los países de América Latina existen laboratorios nacionales con instalaciones para la realización de análisis químicos, establecidos ya sea merced a esfuerzos desplegados a nivel nacional o a cooperación bilateral e internacional. En diversos países estas instalaciones no son lo suficientemente adecuadas, desde el punto de vista de la exactitud y la sensibilidad, para satisfacer la creciente demanda de servicios analíticos más rápidos y más fiables.

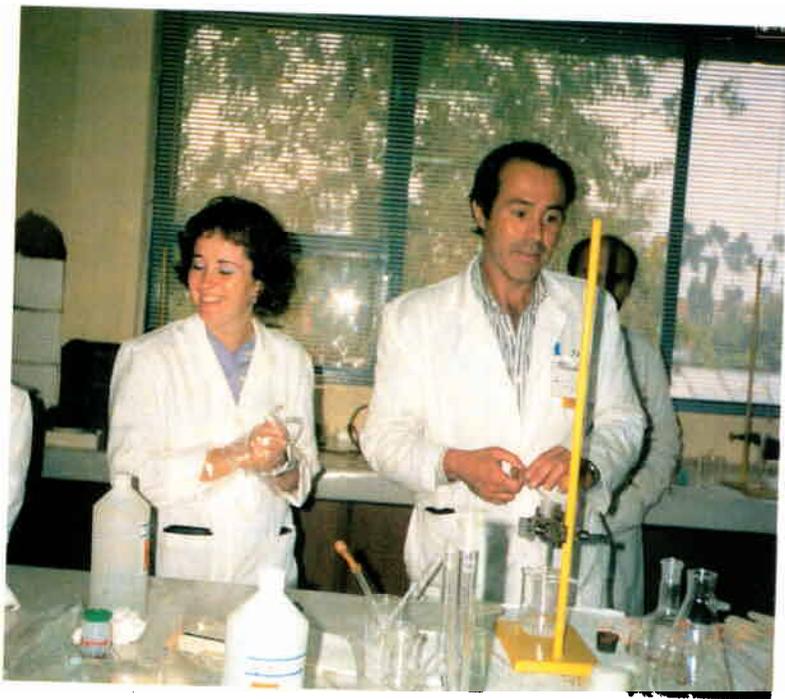
Muchos institutos, en particular los pertenecientes a los establecimientos nacionales de energía nuclear, han introducido el empleo de algunas técnicas analíticas nucleares (tales como el análisis por activación neutrónica, el análisis por fluorescencia X, la espectroscopia Moessbauer y las técnicas de aniquilación de positrones). Sin embargo, estos modernos y poderosos métodos analíticos rara vez se aprovechan al máximo en la región de América Latina.

Esta situación ya se había evaluado en 1983 con relación a proyectos de cooperación técnica del Organismo. En unos pocos países, especialmente en la Argentina, el Brasil y también en Chile, algunas de las técnicas nucleares ya se encontraban bastante desarrolladas y se contaba con gran experiencia —experiencia que podía y debía compartirse y transferirse a los demás países de la región.

Cuando se inició el programa ARCAL, la región ya disponía de una infraestructura básica para la instrumentación, además de recursos humanos cualificados para el análisis de elementos indiciarios. No obstante, la química analítica, y en particular el análisis elemental de materiales de origen biológico y del medio ambiente a nivel de trazas y subtrazas, aún necesitaba perfeccionamiento. También se registraba la urgente necesidad de los sectores público y privado de tener acceso a laboratorios analíticos capaces de realizar análisis químicos con alto grado de fiabilidad y precisión.

A fin de mejorar las capacidades técnicas de los especialistas en la región de América Latina se estableció un proyecto ARCAL. El Organismo proporcionó servicios de química analítica y programas de capacitación para prestar asistencia en materia de organización y fortalecimiento de laboratorios analíticos nucleares. El objetivo consiste en incrementar sus capacidades de proporcionar servicios analíticos fiables mediante el fortalecimiento de actividades existentes basadas en la energía nuclear en diversos sectores de la economía nacional de cada país. En la región de América Latina los sectores beneficiarios nacionales y regionales comprenden organizaciones gubernamentales en esferas tales como el control del medio ambiente, la salud y la nutrición, y la prospección y exploración de minerales.

El proyecto fomenta el intercambio de experiencia y conocimientos en toda la región. Los



*La capacitación en el marco del proyecto incluye experiencia práctica en la determinación de elementos indiciarios utilizando técnicas de separación radioquímica.*

cursos de capacitación se celebran en instituciones de renombre y se complementan mediante seminarios y talleres orientados hacia la investigación en técnicas analíticas seleccionadas así como programas coordinados de investigación. Las actividades desarrolladas en el marco del proyecto pretenden fomentar el desarrollo de vínculos más sólidos entre los laboratorios analíticos a fin de generar intercambios de protocolos y procedimientos analíticos que arrojen beneficios recíprocos.

Muchos laboratorios de la región han alcanzado un grado razonable de experiencia y sofisticación en materia de análisis de oligoelementos en materiales de origen geológico o del medio ambiente y, en menor grado, en aquellos de origen biológico.

Las técnicas analíticas nucleares han podido aplicarse de manera amplia al análisis de trazas de elementos pesados tóxicos en estudios de contaminación del agua, del aire y de efluentes industriales. Se utilizan para la prospección de recursos minerales y para el análisis de concentrados minerales, metales y aleaciones de alta pureza y, en algunas instancias, para el análisis de elementos de importancia toxicológica y

nutritiva en productos agroindustriales, inclusive alimentos para el consumo humano y animal.

Durante el primer año del proyecto se prestó especial atención a la evaluación de las capacidades de análisis químico de la región, expresadas en cuanto a personal e instalaciones de laboratorio, y a la preparación de una serie de cursos especializados dedicados a técnicas radioanalíticas seleccionadas. Esto se logró en base a información compilada en la región y dio lugar al otorgamiento de contratos técnicos a institutos seleccionados. Se organizó un seminario sobre la aplicación de la espectroscopia Moessbauer a fin de reforzar más los

programas de investigación aplicada en metalurgia y arqueología.

Entre las actividades emprendidas se realizó un taller avanzado sobre análisis por fluorescencia X y análisis por activación neutrónica susceptible de aplicarse al control del medio ambiente, a los programas de salud y nutrición y a la prospección y exploración de minerales. En base a los preparativos y planes elaborados durante el primer año se llevó a cabo un programa de capacitación en técnicas analíticas determinadas, e igualmente se celebró una reunión de expertos en relación con el establecimiento de laboratorios regionales de referencia.

Tras una reunión conjunta con expertos regionales, se inició un programa regional coordinado de investigación (PCI) para aplicar técnicas nucleares relativas a la determinación de elementos indiciarios en los productos agroindustriales, incluidos los alimentos. Se registró la necesidad expresa de fortalecer los conocimientos técnicos nacionales en este tipo de análisis y de fomentar el intercambio de información entre los científicos de la región.

El PCI tiene por objeto mejorar las capacidades existentes con respecto al estudio de proble-

mas relativos a la determinación de elementos indiciarios en los productos agroindustriales, incluidos los artículos alimenticios destinados a la nutrición humana y animal. En última instancia, el objetivo es permitir que los laboratorios de la región alcancen el nivel necesario para proporcionar servicios analíticos fiables.

Se le concede gran importancia a la determinación de aquellos elementos que tengan relevancia toxicológica y nutritiva. También se emplean técnicas de absorción atómica y de plasma de acoplamiento inductivo para apoyar y realizar estudios intercomparativos. La garantía de calidad constituye una de las aplicaciones normales del programa. El Laboratorio del Organismo en Seibersdorf brinda su asistencia por intermedio de sus servicios de control de calidad analítica.

La participación en el PCI sobre técnicas nucleares analíticas está abierta a todos los países de América Latina que participan en el ARCAL. En la actualidad científicos de Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador, Guatemala, Paraguay, Perú, Venezuela y Uruguay están participando en calidad de titulares de contratos

de investigación. Otros han expresado el deseo de participar en el mismo en un futuro próximo.

A fin de fortalecer y aumentar la pericia regional, se invita a científicos cualificados e interesados de fuera de la región a que participen en calidad de titulares de acuerdos de investigación. Los cursos de capacitación y los talleres dieron pruebas de ser mecanismos efectivos para una rápida transferencia de conocimientos técnicos, de mantener a los participantes al tanto de los últimos desarrollos y constituyen además un foro para discutir problemas comunes y compartir ideas para las soluciones. En 1988 se organizó un curso de capacitación que abarcó cuestiones relativas a las agroindustrias y a los alimentos. En 1989 se organizó un curso en relación con los recursos minerales en que se hizo hincapié en los metales preciosos y las tierras raras. También se organizó un taller en la esfera de la activación neutrónica aplicada al análisis del medio ambiente.

En 1990 se celebran talleres prácticos y cursos de capacitación para fortalecer las actividades de apoyo del programa coordinado de investigación.



*Las separaciones radioquímicas se utilizan en un curso de capacitación sobre análisis por activación neutrónica aplicado a problemas del medio ambiente.*

# Reactores de investigación

**L**os reactores de investigación son elementos versátiles y útiles para una amplia variedad de disciplinas y tecnologías científicas. Son instrumentos interdisciplinarios que pueden ser utilizados en esferas tales como la investigación científica, la investigación aplicada u orientada hacia la ingeniería y la capacitación. Estas actividades se aplican a la medicina, a la agricultura y a esferas industriales en las que el empleo de métodos nucleares puede ser menos costoso, más rápido y superior a otros. En muchos casos proporcionan información que no es accesible empleando métodos no nucleares.

Los reactores nucleares de investigación desempeñan una función de apoyo importante en lo relativo a los programas nucleares. En la mayoría de los casos los programas nucleoelectrónicos se han basado considerablemente en actividades previas con reactores de investigación y conexas. Aun aquellos países que han decidido adquirir reactores de potencia listos para funcionar, sin el aporte de mayores contribuciones técnicas nacionales, han podido beneficiarse al tra-

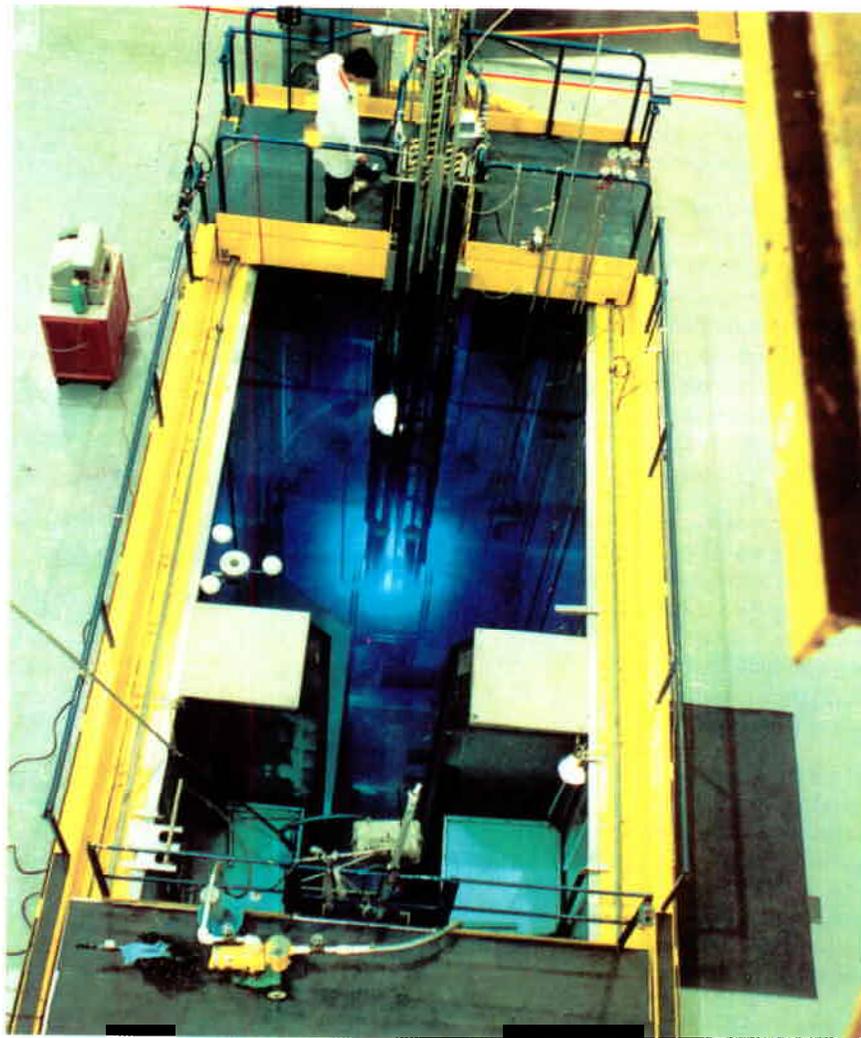
bajar con reactores de investigación merced a los cuales han podido formar un equipo de personal científico y técnico. Existe un fuerte incentivo para utilizar reactores de investigación como instrumentos para el desarrollo de estos talentos.

La utilización adecuada de reactores de investigación en centros de reactores nuevos o infrautilizados puede lograrse mediante el establecimiento de un programa sólido de investigación básica y aplicada. Esto proporciona un entendimiento de los procesos y técnicas nucle-



*La producción de isótopos reviste la mayor importancia para las aplicaciones de técnicas nucleares en medicina.*

*El reactor de investigación IEA-R1 en el Brasil.*



ares fundamentales que finalmente conducen a diversas aplicaciones de neutrones producidos en reactores, capacitación de personal y servicios conexos.

La utilización de reactores de investigación de alto rendimiento se optimiza por medio de la cooperación internacional que permite a los países que no disponen de reactores de este tipo tener acceso a ellos. Estos reactores se emplean para la producción de radisótopos de alta actividad específica, la resolución de problemas particulares tales como el ensayo de materiales a flujo elevado, la investigación básica y la capacitación de personal. También brindan la posibilidad de preparar experimentos de tubos de haces en reactores de bajo o mediano flujo para su posterior transferencia a un reactor de alto flujo.

La explotación de reactores de investigación puede crear una cantidad de habilidades técnicas

y servicios que probablemente no puedan encontrarse en otro lugar en un país determinado. Si bien dichas habilidades técnicas, tales como la manipulación de radisótopos, la protección radiológica o la medición de actividades muy bajas, no pertenecen a la esfera de utilización directa de los reactores de investigación, pueden considerarse como recursos valiosos que podrían movilizarse en beneficio de la sociedad. Los ejemplos de servicios conexos incluyen los siguientes:

*Aplicaciones de radisótopos ajenas a la medicina nuclear.* Muchos tipos de problemas prácticos tales como la identificación de pérdidas en tuberías, problemas de transporte de materiales, o procesos físicos como mezcla, molienda y secado, así como procesos químicos, pueden estudiarse de manera efectiva y económica mediante el uso de trazadores radiactivos.

Los radisótopos de período corto, que serán usados como trazadores, pueden producirse cómodamente en la mayoría de los reactores de investigación o bien obtenerse a partir de generadores radisotópicos apropiados.

**Medición de actividades bajas.** A fin de mantener un control suficiente de la contaminación y emisiones radiactivas, los reactores de investigación cuentan con un equipo especial para la medición de actividades alfa, gamma y beta muy bajas. También se necesitan conocimientos técnicos y equipo para el análisis de alimentos importados, así como la realización de exámenes del medio ambiente en depósitos de uranio, minas de uranio y centrales nucleares.

**Física médica.** El empleo de las radiaciones ionizantes en hospitales, la industria y otras aplicaciones acarrea la necesidad de disponer de programas de calibración de instrumentos de medición y de garantía de calidad. Los centros que albergan reactores de investigación podrían desempeñar un papel activo en proporcionar tales servicios.

**Enseñanza y capacitación.** El reactor y sus instalaciones pueden usarse para impartir enseñanza a personas que tendrán influencia en el desarrollo técnico, científico y económico de un país determinado. La conciencia pública respecto de los beneficios de la energía nuclear es esencial para lograr que los programas nucleoelectrónicos se introduzcan sin roces.

**Irradiación.** Los reactores de investigación pueden cumplir las funciones de instalaciones de irradiación. A tales efectos pueden usarse como fuente de radiaciones tanto el propio reactor como sus combustibles gastados. Los ejemplos de estas aplicaciones incluyen:

- introducción de impurezas en silicio por transmutación (para industrias avanzadas de componentes electrónicos);
- desinfección de alimentos;
- esterilización de mercaderías; y
- tratamiento de materiales por irradiación (metales, plásticos).

**Activación neutrónica.** La activación neutrónica ha demostrado ser valiosa en una gran cantidad de esferas tales como la exploración de minerales, los materiales ultrapuros, los radio-trazadores en la metalurgia, la biología médica y la investigación del medio ambiente. Este método presenta diversas ventajas que incluyen la habilidad de detectar la mayoría de los isótopos

por medio de su activación, una amplia sensibilidad y la posibilidad de trabajar con muestras sin provocar alteraciones físicas o químicas además de su relativa sencillez.

**Radiografía neutrónica.** Cualquier reactor nuclear equipado con tubos de haces electrónicos dirigidos y capaz de funcionar con una potencia superior a 1 kW puede emplearse para operaciones de radiografía neutrónica sobre película. Claro está que cuanto mayor sea la potencia del reactor tanto mayor será la fuente del flujo y tanto más convenientes los métodos y mejor la calidad de las radiografías. Las aplicaciones más ampliamente utilizadas incluyen:

- inspección de combustibles irradiados;
- detección de hidruros en metales;
- la búsqueda de adhesivos defectuosos;
- la inspección de explosivos;
- la inspección de fundiciones metálicas;
- la inspección de juntas soldadas;
- formación de imágenes dinámicas de motores de automóviles, de refrigeradores, etc.;
- la inspección de cadmio y tierras raras en placas;
- la detección de fallas en materiales para blindajes contra neutrones; y
- la inspección de muestras médicas.

El proyecto ARCAL sobre la utilización de reactores de investigación ha otorgado gran importancia al análisis de los núcleos de reactores, incluyendo estudios en materia de física y termohidráulica, complementados por cursos de capacitación sobre la utilización de reactores de investigación para la producción de radisótopos y para el análisis de oligoelementos en, por ejemplo, partículas en suspensión en el aire o en alimentos. En Colombia, se está mejorando, con ayuda del OIEA, la seguridad de explotación del muy utilizado reactor de investigación de Bogotá, que ha estado funcionando durante más de 20 años. En Jamaica, un reactor de investigación de baja potencia se está utilizando con gran provecho como instrumento en el ámbito de la química analítica y otras esferas, brindando apoyo a la investigación sobre fertilidad de los suelos, los metales de las tierras raras y los recursos minerales.

En 1987 se estableció un programa coordinado de investigación (PCI) para estudiar el problema que plantea la conversión de reactores de investigación que funcionan con combustibles



*Instrumentos perfeccionados se utilizan para medir el quemado de los elementos combustibles de un reactor de investigación en México.*

de uranio muy enriquecido para que funcionen con combustibles de uranio poco enriquecido. Una parte fundamental del programa sigue siendo el establecimiento de capacidad para efectuar cálculos relativos a los reactores en los centros con reactores de investigación.

Estas actividades en materia de física de reactores y cálculos termohidráulicos, orientadas hacia una utilización segura y más eficaz de los reactores, han dado lugar a la formación de un sólido grupo de científicos e ingenieros que disponen de un mejor entendimiento de los reactores. A fines de la primera fase del ARCAL, seis países participan en el programa coordinado de investigación y se espera que varios más lo hagan en el transcurso de la segunda fase. Las actividades incluyeron cursos de capacitación en materia de cálculos de reactores, un taller sobre comparación de cálculos, un curso de capacitación sobre la física de los reactores experimentales, uno sobre la utilización de pequeñas

computadoras para ayudar a los operadores a explotar y utilizar los reactores de manera segura y eficaz, y dos reuniones de coordinación. Además, un experto visitó diferentes centros de reactores de la región para ayudar a las contrapartes locales con problemas relativos a los cálculos que pudieran plantearse. En la segunda fase se le otorgará mayor importancia a la utilización de reactores de investigación así como a los temas relativos a la seguridad operacional de dichos reactores.

Los resultados arrojados por el programa de reactores de investigación durante la primera fase dieron lugar a algunas conclusiones que proporcionaron un marco para actividades en esta esfera durante la segunda fase, que se indican a continuación:

Los cálculos de reactores repercuten en cada una de las esferas de la explotación, utilización y seguridad de los reactores. En una región dada



*En Chile se miden parámetros de elementos combustibles medianamente enriquecidos.*

se registran variados niveles de capacidad de cálculo. Los centros, en particular, están recién comenzando con actividades de este tipo o no han otorgado suficiente importancia a los cálculos en el pasado. No obstante, hay diversos centros que disponen de capacidades bien desarrolladas, y cuyos conocimientos técnicos deberían explotarse en las siguientes esferas.

En lo referente al *funcionamiento*, una gestión más eficiente del combustible podría dar lugar a considerables ahorros en los costos. Además sería preciso convertir a la mayoría de los 18 reactores de la región para que funcionaran con combustible de uranio poco enriquecido (UPE) dado que ya no hay disponibilidad de combustibles muy enriquecidos. Pero aun aquellos que están utilizando combustibles UPE deberán sustituirlos por los nuevos combustibles UPE de dispersión de alta densidad, y será preciso efectuar los respectivos cálculos de reactores.

Con respecto a la *utilización*, los argumentos económicos adquieren importancia dado que se requiere una optimización de la utilización para la producción de radisótopos o producción de neutrones con tubos de haces.

Respecto de la *seguridad*, la mayoría de los centros de reactores no disponen de informes sobre análisis de la seguridad. La exitosa realización de este programa facilitaría la puesta al día de dichos informes.

La **utilización de reactores** sigue a la necesidad de establecer una capacidad básica de cálculo.

Algunas actividades en esta esfera incluyen un programa sobre radisótopos en curso de realización así como actividades en técnicas nucleares analíticas (como parte de otro programa ARCAL). La radiografía neutrónica constituye una esfera adicional que se considera como parte de este esfuerzo.

En 1991 se proyecta celebrar en Santiago, Chile, un seminario sobre la utilización de reactores de investigación que será el primero de este tipo en la región. Reuniones similares de operadores y usuarios de reactores de investigación se celebran con regularidad en la mayoría de las otras regiones del mundo. Se espera que este tipo de actividad también pueda realizarse con regularidad en América Latina.

La seguridad de los reactores constituirá el tema central de una reunión de representantes del comité sobre la seguridad de los reactores. Muchos países del ARCAL carecen de autoridades nacionales reglamentadoras y la responsabilidad de la explotación y utilización seguras de los reactores recae sobre el comité interno de seguridad. Esta actividad se ha fijado el propósito de mejorar y normalizar la organización y funciones de dichos comités.

Se proyecta realizar un curso de capacitación para operadores de reactores de investigación a fin de mejorar los conocimientos y capacidad necesarios para los operadores de reactores y para intentar normalizar la capacitación.

# La irradiación de alimentos: una contribución a la economía y la salud

**L**os productos alimenticios son una parte integrante del comercio internacional y revisten aún mayor importancia para aquellos países en desarrollo cuya economía es aún esencialmente agrícola. Esos países proporcionan un 30% de las importaciones mundiales de productos agroindustriales y un porcentaje aún mayor de productos tropicales y productos hortícolas frescos. Los países de América Latina son muy importantes proveedores de alimentos a nivel mundial y dependen en gran medida de la exportación de alimentos para la obtención de divisas.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la incidencia de enfermedades de origen alimentario constituye uno de los problemas sanitarios más difundidos, tanto en los países en desarrollo como industrializados, y representa uno de los principales motivos de la baja productividad económica. Además, la contaminación de alimentos con agentes patógenos da lugar al rechazo de productos alimentarios básicos que representan una importante fuente de ingresos en divisas.

Las pérdidas de alimentos tras la recolección son sumamente elevadas si se considera el nivel alcanzado por el desarrollo tecnológico. Según estimaciones se pierde entre la tercera y la cuarta parte de la producción alimentaria mundial debido al deterioro causado por los microbios y las plagas. Muy a menudo las pérdidas más elevadas se producen en aquellas zonas en que se registra la mayor necesidad de alimentos, especialmente en países en desarrollo situados en zonas tropicales.

En aras del desarrollo socioeconómico es de capital importancia que se realicen todos los esfuerzos a fin de reducir las enfermedades de origen alimentario e incrementar la disponibilidad de alimentos. No se deben escatimar esfuerzos para facilitar el comercio de exportación al conservar la calidad de los alimentos mediante la prolongación de su período de almacenamiento, el tratamiento contra las plagas incluidas en reglamentaciones fitosanitarias, una mejora de la calidad higiénica y la prevención de pérdidas tras la recolección.

La irradiación de los alimentos brinda un medio adicional para lograr esos objetivos. Se trata de un método sencillo y eficaz para procesar alimentos, un método cuyo potencial no ha sido plenamente reconocido. Este consiste en un tratamiento físico de los alimentos similar al calentamiento, al enfriamiento o a la exposición de los alimentos a microondas o a luz ultravioleta. El proceso consiste en exponer alimentos, ya sea envasados o a granel, a rayos gamma, rayos X o electrones en una sala especialmente protegida durante un intervalo de tiempo determinado, a fin de lograr el propósito tecnológico. Como fuentes de rayos gamma se utiliza cobalto 60 y cesio 137. Para la producción de electrones y rayos X se utilizan aparatos y no es preciso recurrir a fuente radiactiva alguna.

En el decenio de 1960 el proceso de irradiación de alimentos pasó por una fase de investigación y tecnología que fue seguida en los decenios de 1970 y 1980 por un largo período de ensayos de comestibilidad y evaluación de la se-

guridad. Después de que el Comité mixto de expertos FAO/OIEA/OMS sobre la comestibilidad de los alimentos irradiados declarara que los alimentos irradiados eran seguros, la Comisión conjunta FAO/OMS del Códex Alimentarius, un cuerpo que representa a 135 países, adoptó una norma general que reconoce la seguridad de los alimentos irradiados con una dosis que no exceda un promedio máximo de 10 kGy. La norma del Códex requiere que se cumplan las prácticas de irradiación de alimentos y que el proceso sea debidamente controlado en instalaciones dotadas de licencias de autorización a tales efectos. Estos requisitos, a su vez, exigen investigaciones más profundas en materia de prácticas de irradiación de productos al nivel de las aplicaciones comerciales, la capacitación del personal técnico y el intercambio de información.

Las radiaciones pueden utilizarse para reducir los microorganismos que provocan el deterioro de alimentos, inclusive bacterias, mohos y levaduras, impedir la germinación o maduración (de fruta) y por lo tanto extender el período de conservación de productos agrícolas frescos y pescado. También puede reducir el nivel de microorganismos o parásitos patógenos en alimentos, susceptibles de causar enfermedades. La prevención de pérdidas tras la recolección debidas a infestación y los tratamientos de cuarentena constituyen otras aplicaciones posibles.

Hasta el presente, 22 países han adoptado reglamentaciones específicas sobre irradiación de alimentos y 37 países han autorizado la irradiación de uno o más productos alimenticios. La autorización otorgada en los Estados Unidos de América para la utilización de técnicas de irradiación de alimentos para el tratamiento de especias, productos avícolas y mangos (para el control de cuarentena) y la propuesta realizada por la Comisión de las Comunidades Económicas Europeas para la elaboración de directivas que permitan la irradiación de alimentos, constituyen adelantos importantes en esta esfera.

El rápido crecimiento de la población y la difusión de enfermedades de origen alimentario exigen que se realicen todos los esfuerzos para reducir las pérdidas tras la recolección y asegurar la calidad higiénica de los alimentos. La desinfestación de productos agrícolas frescos destinados a ser exportados hacia países dotados de estrictas reglamentaciones de cuarentena y la descontaminación de ciertos productos alimenticios destinados a la exportación son necesarias para evitar que éstos sean rechazados en los países hacia los que se exportan. La prolongación del período de conservación, y por lo tanto de las posibilidades comerciales de productos perecederos, representa una importante ventaja comercial.

La irradiación de los alimentos requiere un continuado proceso de investigación respecto de



*En muchos países los consumidores se han visto enfrentados, en el transcurso de los últimos años, a la introducción paulatina de alimentos irradiados en el mercado. En América Latina se espera que a fines de 1990 se encuentren en funcionamiento un total de 12 instalaciones de irradiación comercial.*

sus aplicaciones a productos alimenticios individuales, la disponibilidad de personal capacitado para controlar el proceso, equipo especializado y un sistema de reglamentación para asegurar que se apliquen prácticas seguras y buenas. Resulta igualmente importante obtener un intercambio de información mediante talleres especializados y programas coordinados de investigación.

En 1985, el OIEA inició un proyecto regional de irradiación de alimentos para promover la cooperación y proporcionar ayuda en el empleo de la energía nuclear teniendo en cuenta las necesidades especiales de la región de América Latina. Los objetivos inmediatos del proyecto consistieron en capacitar personal con el fin de reforzar las actividades de investigación y desarrollo en materia de aplicaciones de la irradiación de alimentos y fomentar la difusión de información sobre los aspectos científicos, sanitarios, jurídicos y comerciales de este proceso. En 1986 se estableció un programa coordinado de investigación (PCI) sobre irradiación de alimentos.

Entre 1985 y 1989, el proyecto regional de irradiación de alimentos se realizó poniendo en práctica una variedad de modalidades de financiamiento que incluyeron proyectos de cooperación técnica, contratos de investigación, proyectos regionales, ARCAL, países donantes y otras contribuciones. En 1985, una misión preparatoria que incluyó a Argentina, Brasil, Colombia, Paraguay, Uruguay y Venezuela, examinó la situación desde el punto de vista del nivel de la investigación en curso, la infraestructura y recursos de personal disponibles, y determinó los requisitos de la región.

A continuación de esta misión se estableció un programa coordinado de investigación de carácter regional con la participación de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Guatemala y Uruguay. En virtud de este arreglo de investigación en colaboración, mediante el cual se proporcionó asistencia financiera a los laboratorios participantes, se realizó un estudio sobre la viabilidad tecnoeconómica del proceso de irradiación y las aplicaciones a nivel de planta piloto de una variedad de productos alimenticios seleccionados de importancia para la región. Se brindó particular atención a la mejora de la calidad de higiene de los alimentos, el tratamiento de cuarentena y la prolongación del período de conservación.

Se celebraron talleres generales y especializados para capacitar personal en esferas tales como la evaluación de la viabilidad tecnoeconómica o la higiene. En diversos países se llevaron a cabo capacitación individual y estudios de factibilidad a fin de demostrar la viabilidad del proceso en condiciones comerciales o a escala piloto.

El proyecto ha demostrado que la irradiación es eficaz para reducir las pérdidas tras la recolección, controlar los insectos en tratamientos de cuarentena, mejorar la calidad higiénica de los productos alimenticios y ampliar la comercialización de productos perecederos. A fines de 1990 seis países de la región dispondrán de irradiadores comerciales de alimentos con un total de 12 instalaciones de irradiación (en su mayoría dotadas de fuentes de cobalto 60). Cinco de estos países disponen ya sea de reglamentaciones específicas sobre irradiación de alimentos (Argentina, Brasil, Cuba) o han autorizado la irradiación de alimentos (Chile, México). Ecuador dispone de un acelerador de electrones y tendrá un irradiador gamma en funcionamiento a fines de 1990. Colombia está ampliando su instalación para llevarla a una escala semiindustrial en 1990, mientras otros países de la región ya disponen de instalaciones de irradiación para investigación (Venezuela, Uruguay, Guatemala).

Hasta el presente, el proyecto ha estimulado la investigación a través de un programa coordinado y ha conducido al establecimiento de instalaciones de irradiación comerciales o a escala piloto en la región. Se proporcionó capacitación respecto de diversos aspectos de la tecnología de la irradiación de alimentos y se registraron progresos en la introducción de reglamentaciones sobre la irradiación de alimentos. Cuatro países del ARCAL —Argentina, Brasil, Chile y México— desempeñan un papel clave en la aplicación práctica de la tecnología de la irradiación de alimentos en los países de la región. La Argentina, por ejemplo, es un productor competitivo de cobalto 60 y un constructor de instalaciones de irradiación.

América Latina puede sin duda alguna beneficiarse de una apropiada aplicación de la tecnología de irradiación de alimentos. Se están realizando esfuerzos para asegurar el apoyo financiero a la continuación de un proyecto de irradiación de alimentos en la región.

# Mejoramiento genético de los cereales utilizando técnicas nucleares



**A**l igual que en otras regiones en desarrollo del mundo, en los países de América Latina el incremento de la producción alimenticia se ha convertido en la principal estrategia agrícola. La amplitud de la producción cerealera, especialmente de trigo o arroz, determina la situación económica en la mayoría de los países de la región, exceptuando aquellos en las zonas tropicales en las que juegan un papel importante la caña de azúcar, el banano o la yuca. No obstante, aun en dichas regiones se ha registrado un drástico incremento en el consumo de arroz y es fácil prever que en un futuro próximo el cultivo del arroz aumentará en diversos países de la región.

En la actualidad, las importaciones de cereales llegan a cubrir hasta un 90% del consumo cerealero de los países de América Latina y origina dificultades en sus respectivas balanzas comerciales. Cereales como el arroz, el trigo, la cebada y en cierta medida el sorgo, pueden cultivarse en condiciones ambientales muy diversas. De todos los cereales, el arroz presenta la mejor capacidad de adaptación a las diferentes condiciones ambientales. Esta es probablemente la razón por la cual solo el arroz, sin parangón entre otras cosechas, satisface la mitad de la dieta de 1600 millones de personas en el mundo.

En América Latina, aproximadamente 8,1 millones de hectáreas están dedicadas al cultivo del arroz cáscara con una producción anual de aproximadamente 19 millones de toneladas, hecho que, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), indica que el rendimiento por hectárea es más bien bajo en comparación con el de otras regiones.

Las condiciones ambientales muy peculiares en algunas partes de América Latina hacen difícil introducir cultivares modernos, de elevado rendimiento, de cereales procedentes de otras regiones del mundo. A fin de explorar el potencial de adaptabilidad de los cereales, se torna necesario criar nuevas variedades que puedan tolerar condiciones edáficas y climáticas adversas. Por esta razón, se establecieron muchos programas de fitotecnia utilizando el método convencional para obtener mejoras por etapas del potencial de rendimiento de los principales cereales.

No obstante, la aplicación de este método convencional se ha enfrentado con dificultades debidas a los limitados recursos genéticos naturales para obtener plantas con características especialmente necesarias, como tolerancia a las



*Cultivos de tejidos sometidos a estudio en la Sección de Radiogenética del Centro de Energía Nuclear para la Agricultura (CENA) en el Brasil.*

grandes alturas, a los suelos de cenizas volcánicas, a la falta de disponibilidad de fósforo o resistencia a diversas plagas y enfermedades que muy a menudo difieren de una zona a la otra. En esta situación particular, el empleo de técnicas de mutaciones inducidas brinda la solución más sencilla y más económica. Se pueden inducir nuevas variabilidades genéticas mediante el tratamiento mutagénico y las plantas que presentan caracteres genéticos deseables pueden aislarse utilizando métodos de selección apropiados y a menudo sencillos.

La viabilidad de la fitotecnia por mutaciones para la mejora de cultivares locales de arroz, trigo o centeno ya ha quedado demostrada en diversos países, entre ellos China, Checoslovaquia, India, Indonesia, Italia, Côte d'Ivoire, Japón y los Estados Unidos de América. Ya se han conseguido unos 240 cultivares de cereales mediante la aplicación de técnicas mutagénicas y se han distribuido oficialmente a cultivadores entre 1976 y 1988.

La mayoría de estos cultivares mutantes se obtuvieron a partir de la multiplicación directa de un mutante seleccionado. Al mismo tiempo, puede observarse una creciente tendencia a utilizar mutantes en diferentes cosechas como material original para programas de cruzamiento. Por ejemplo, en Checoslovaquia, que es un importante productor de cerveza para el mercado



*Mutantes semienanos de sorgo en México, tratados con radiación gamma. (Foto: Maluszynski/OIEA)*

mundial, el 100% de la superficie destinada a la cebada de primavera (más de 500 000 hectáreas) se siembra con variedades obtenidas mediante cruzamiento con un mutante (conocido bajo el nombre de "Diamant") inducido mediante tratamiento por rayos X. Esto puede evitarse utilizando métodos biotecnológicos recientemente desarrollados, en particular el método de "doble haploide" (DH). Utilizando medios artificiales en cultivos *in vitro*, resulta posible criar plantas enteras a partir de embriones o aun microesporas o granos de polen. Estos métodos pueden acelerar en un 50% los procedimientos fitotécnicos. Sin embargo, exigen un laboratorio de cultivos *in vitro* a fin de permitir el crecimiento de las plantas en condiciones asépticas.

Considerando la difícil situación de los programas de fitotecnia de cereales en América Latina y la importancia que reviste la producción de cereales para las economías de estos países, se inició en 1985, con la participación de la mayoría de los países de la región, un proyecto sobre el mejoramiento del arroz y otros cereales importantes mediante fitotecnia por mutaciones.

De los proyectos de cooperación técnica nacionales emana la pujanza necesaria para establecer las instalaciones básicas para la utiliza-

ción de técnicas de mutación y ayudar a los países de América Latina con diferentes métodos de selección. En el marco de esos proyectos se suministra equipo para laboratorios de fitotecnia por mutaciones así como para campos de cultivo experimentales. Simultáneamente con la construcción de instalaciones, estos proyectos han proporcionado programas de capacitación para fitotécnicos de diferentes países.

Un estrecho contacto con diversos institutos e instituciones dedicadas a programas de fitotecnia en diversos países da lugar a una mayor cooperación y colaboración entre fitotécnicos involucrados en el programa del Organismo, así como con otras instituciones agrícolas que disponen de excelentes condiciones para programas de selección en gran escala. Estas instituciones fitotécnicas pueden evaluar a nivel agronómico mutantes de cultivos recientemente desarrollados por otras instituciones vinculadas con los centros nucleares nacionales. En algunos países fue posible establecer programas conjuntos en que participan los centros nucleares y las estaciones fitotécnicas de los respectivos ministerios de agricultura.

Las actividades nacionales de cooperación técnica permitieron que el proyecto se con-

centrara en la transterencia de técnicas particularmente necesarias, proporcionando instalaciones y capacitación intensiva para el personal científico. En este caso, la actividad se concentró en el método de doble haploide.

El primer paso consistió en establecer laboratorios de cultivos *in vitro*. En algunos países de la región dichos laboratorios fueron los primeros dedicados a actividades de biotecnología de plantas. Los esfuerzos realizados, que corrían parejo con los proyectos de cooperación técnica nacionales, facilitaron la concentración de actividades de expertos en este tema. Esto se logró por medio de cursos de capacitación o talleres organizados anualmente en el marco del programa.

Cada curso de capacitación o taller tenía el propósito de proporcionar la información y los conocimientos prácticos necesarios para su aplicación en experimentos en curso. Así, por ejemplo, un curso de capacitación celebrado en el Perú fue dedicado al uso de técnicas de mutación con respecto a cultivos de cereales *in vitro*. En Costa Rica se proporcionó cooperación técnica relativa al uso de mutantes para programas de fitotecnia por cruzamiento de cereales. En Guatemala la cooperación técnica permitió brindar capacitación avanzada relativa a doble haploides en cereales como medio para obtener una rápida homocigosidad de progenies mutadas.

Las instalaciones y la capacitación mejoradas condujeron al establecimiento de un programa coordinado de investigación (PCI) para iniciar la investigación y los experimentos necesarios relativos a técnicas mutagénicas relacionadas con doble haploides. Además, el programa constituye un instrumento único para estimular los esfuerzos multiinstitucionales para resolver problemas científicos particulares y bien definidos. Tales esfuerzos incluyen la evaluación de la variabilidad inducida en generaciones después de tratamientos mutagénicos de diferentes especies y variedades, así como la estimación del grado de uniformidad genética obtenido en progenies de doble haploide. El programa ya ha arrojado resultados muy interesantes y promisorios.

En el Estado de Sao Paulo, Brasil, el 80% del arroz se cultiva en condiciones de tierras altas. El cultivar 165 del IAC (Instituto Agrícola de Campiñas) presenta la variedad más popular de arroz de tierras altas que se cultiva en la zona. Lamentablemente esta variedad tiene un tallo alto y es muy susceptible al encamado, especialmente cuando se le somete a elevados niveles de

fertilización nitrogenada. Este carácter indeseable que presentan las plantas de este tipo prácticamente excluye que se incremente el rendimiento mediante la aplicación de mayores cantidades de fertilizantes nitrogenados. El IAC ha organizado programas para mejorar esta variedad cruzándola con variedades de arroz cáscara de baja estatura que poseen un gene responsable de su carácter semienano. Este método de fitotecnia por cruzamiento no fue exitoso.

A continuación se irradiaron semillas de esta variedad con rayos gamma. Después de tres años se seleccionaron unas 75 líneas de mutantes semienanos de tierras altas. Ocho de éstas presentan buenas características agronómicas y se utilizarán en programas de fitotecnia. De manera similar y tras someterlas a tratamientos mutagénicos, se seleccionaron entre variedades de arroz cáscara apropiadas para ser cultivadas en otras zonas del Brasil, líneas de mutantes que presentaban caracteres atractivos tales como el semienanismo, la precocidad, la calidad de grano mejorada y la alta resistencia a enfermedades.

En Guatemala también se obtuvieron resultados promisorios con arroz. En lo que respecta a las variedades locales era preciso mejorar caracteres genéticos tales como la precocidad y resistencia contra el añublo del arroz. Después de un tratamiento mutagénico con rayos gamma se cultivaron más de 48 000 plantas en campos experimentales del Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola. En esta población se seleccionó, entre otros mutantes interesantes, un mutante de buen rendimiento, con una precocidad de aproximadamente dos semanas respecto de los demás y una mejorada tolerancia a enfermedades. Una detallada evaluación de la siguiente progenie confirmó sus valiosas características.

También se encontró una buena resistencia al añublo del arroz entre progenies mutadas en base a irradiaciones con rayos gamma de variedades de arroz de tierras altas en Colombia y en aquellas de una variedad local. Un amplio proyecto que incluye un tratamiento mutagénico del arroz en Cuba ha producido muchos mutantes precoces. La precocidad es una característica deseable para el mejoramiento del arroz en dicho país.

En Chile, el consumo de trigo es uno de los más elevados del mundo. El trigo constituye la cosecha más importante, sobre todo en la región de los lagos. No obstante, las variedades cultivadas allí se han enfrentado a algunos problemas

debido a una acidez edáfica extremadamente elevada y a la deficiencia de fósforo, un problema que es característico para los suelos volcánicos. La necesidad de aplicar fertilizantes fosfatados incrementa de manera drástica los costos de producción de la cosecha y los programas convencionales de fitotecnia están limitados debido a la falta de fuentes de material genético natural de trigo para este propósito. Las técnicas mutagénicas fueron elegidas como un instrumento simple para superar este problema.

Entre 117 mutantes de trigo inducidos mediante rayos gamma que presentan un incremento en materia de tolerancia al déficit de fósforo, dos mutantes resultaron particularmente eficaces en la conversión del fósforo comparados con las variedades que crecen en la región. El resultado obtenido demuestra claramente el potencial de las técnicas de mutación respecto de la producción de nuevos caracteres deseables.

En Paraná (Brasil) existen algunos cultivares de trigo que presentan un buen potencial de rendimiento debido a que se adaptan bien al medio ambiente local. Pero son muy altos y se inclinan fuertemente en condiciones de campo. En esta situación, lo que se deseaba era obtener una forma semienana sin modificar el resto de la constitución genética. Como resultado del programa de fitotecnia por mutaciones iniciado en 1986, se seleccionaron 11 mutantes semienanos, algunos de los cuales presentaban un buen potencial de rendimiento. Un mutante es especialmente pro-

metedor. Según los fitotécnicos del Brasil y México, este mutante semienano y semierecto puede constituir una muy buena fuente para estos caracteres genéticos deseables para el mejoramiento del trigo, no solo en el Brasil sino también en otros países de América Latina.

En el Perú hay grandes superficies de tierras llanas a alturas superiores a los 3200 metros. En ese ambiente, las plantas de pasto, la cebada forrajera, y la papa, las habas y unas pocas hortalizas, constituyen las principales fuentes de alimentación. Unos diez años atrás se inició un programa de fitotecnia por mutaciones, como parte integrante de un proyecto de cooperación técnica del OIEA, a fin de acelerar la adaptación de variedades de trigo y cebada de otras regiones del mundo a estas particulares condiciones ambientales. En base al tratamiento mutagénico de semillas de una variedad particular de cebada se obtuvieron diversos mutantes con caracteres deseables inclusive precocidad, vigor y granos de color claro, importante para la producción de cerveza de calidad.

Estos resultados prometedores, aunque preliminares, ya han activado la colaboración entre las contrapartes del Organismo y otras instituciones dedicadas a la fitotecnia en diversos países. Estas han alentado intereses similares en países vecinos y han generado un intercambio de información sobre experiencias científicas respecto de métodos fitotécnicos particulares y material fitológico deseable.



*El arroz es un importante cultivo en países de América Latina, como Colombia. (Foto: Maluszynski/OIEA)*

# Radioinmunoanálisis de hormonas tiroideas

**E**l radioinmunoanálisis (RIA) es una técnica que utiliza radionucleidos en ensayos diagnósticos para medir cantidades ínfimas de sustancias tales como hormonas, vitaminas y drogas en los fluidos del cuerpo. Esta técnica ofrece una clara ventaja respecto de la estimación clínica porque es sensible y específica y pueden medirse muestras pequeñas con mayor exactitud.



*En Brasil se utilizan técnicas nucleares para el tratamiento de enfermedades del tiroides.*

Desde su introducción, a comienzos del decenio de 1960, el RIA ha ganado amplia aceptación como técnica analítica aplicada en países en desarrollo porque es de fácil manejo en el marco de las capacidades de las infraestructuras nacionales. Aunque se aplica en primer lugar al tratamiento de pacientes, a medida que avanza los conocimientos técnicos y mejoran los recursos también incrementan las actividades de investigación. La técnica se utiliza principalmente para trastornos del tiroides, pero también se emplea en la investigación de otras condiciones endocrinas y problemas de salud pública.

El radioinmunoanálisis de hormonas tiroideas se realiza en todos los países de América Latina que tienen programas nucleares, y casi con toda seguridad se aplica a más pacientes que todas las demás aplicaciones médicas de los radionucleidos juntas. La experiencia adquirida por el Organismo en sus actividades de cooperación técnica en 1987 indicó claramente que los países receptores obtendrían mayores beneficios de esas actividades si éstas se ofrecieran en el marco de un proyecto más integrado, con un mejor conocimiento de la situación nacional.

En aquella época, la práctica que consistía en importar juegos (kits) de RIA comerciales presentaba inconvenientes marcados para los países de la región. El costo de los juegos importados era sumamente elevado y se estimulaban además prácticas que comprometían la calidad, tales como el análisis de muestras una sola vez, o la omisión de muestras de control de calidad.



*Se brinda capacitación en producción de radisótopos para aplicaciones médicas en América Latina.*

Además la logística incierta de la importación producía demoras en los envíos y obligaba frecuentemente a cambiar de fabricante, hecho que también podría haber comprometido la calidad.

Se determinó que la estrategia óptima para mejorar el suministro de juegos de reactivos era sustituir al principio los juegos por conjuntos de reactivos a granel y, posteriormente, a medida que se fuesen adquiriendo los conocimientos especializados, hacerse cargo de la preparación nacional de determinados componentes de estos conjuntos hasta que la mayor parte del suministro fuera autóctona.

Otra clara ventaja que presentaba el criterio regional de suministro de reactivos era la cooperación entre varios laboratorios para la adquisición de reactivos. En la región de América Latina los esfuerzos realizados en el marco del programa ARCAL apuntan esencialmente a promover la transferencia de tecnología RIA ayudando a los laboratorios a obtener suministros de reactivos de bajo costo y vigilar la calidad de los ensayos.

Aprovechando la disponibilidad de reactivos de RIA a granel a costos reducidos, la estrategia inicial del proyecto consistió en adquirir dichos reactivos de una fuente centralizada y fomentar

la introducción de ensayos realizados en los propios laboratorios en base a su utilización.

Se suministraron a laboratorios de la región bultos de reactivos a granel completos. A fin de introducir la nueva metodología y los nuevos procedimientos para el control interno de la calidad y el moderno procesamiento de datos, se inició un programa intensivo de capacitación compuesto de cursos regionales seguidos por otros a nivel nacional.

Al finalizar el primer año el efecto sobre los costos era sensacional. En base a estimaciones fiables se pudo establecer que el costo de los reactivos para los análisis de un paciente había disminuido aproximadamente cinco veces pasando de un promedio anterior de 2,50 dólares de los Estados Unidos a menos de 0,50 dólares. Una ventaja adicional fue la observancia de los patrones de RIA y de las prácticas internas de control de calidad que previamente se habían descuidado.

Se le ha otorgado especial atención a la creación de la infraestructura necesaria, en base a una apreciación de problemas y limitaciones existentes, a fin de permitir que el RIA satisfaga su potencial al servicio de la salud. Dado que el RIA es una función multidisciplinaria, su intro-

ducción debería considerarse conjuntamente con la disponibilidad y estado de desarrollo de otras disciplinas de laboratorio en la región.

Catorce países participan en el proyecto: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, Ecuador, Guatemala, México, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela. Los oficiales técnicos seleccionaron 14 laboratorios para que cumplan funciones de laboratorios de referencia y 40 en calidad de laboratorios de cooperación. Todos fueron provistos con reactivos a granel para RIA de hormonas tiroideas y pequeñas partidas de equipo y productos químicos para la producción de reactivos. Se adjudicaron contratos de investigación a laboratorios de referencia que participan en un programa coordinado de investigación (PCI).

El proyecto tiene el propósito de estimular la producción regional y nacional de reactivos para RIA de las hormonas tiroideas lo que permitirá un incremento considerable en la utilización de este importante procedimiento de diagnóstico.

De ello resulta que los servicios de RIA están a disposición de un mayor número de pacientes, en particular en las zonas del interior y de las tierras altas donde se encuentra la mayoría de los pacientes tiroideos.

Unos 27 cursos de capacitación a nivel nacional apoyaron los esfuerzos realizados en la materia en 17 países. Estos cursos ampliaron la capacidad técnica en materia de técnicas y control de calidad de RIA a unos 350 científicos de América Latina. Se celebraron cursos regionales y talleres sobre:

- preparación y empleo de reactivos a granel para RIA de hormonas tiroideas (Chile),
- metodología de radisótopos con especial énfasis en el RIA (Buenos Aires),
- control de calidad externo en RIA (Asunción, Paraguay); y
- preparación y empleo de reactivos a granel para RIA de hormonas tiroideas (São Paulo).



*Inoculación de veneno de ofidios irradiado en el Brasil.*

# Información nuclear

**S**e dice que vivimos en la era de la información y en ninguna esfera se refleja esto con mayor claridad que en la del mundo científico y técnico. La cantidad de información generada crece con gran celeridad y cada año que transcurre adquiere mayor importancia la forma en que se trata dicha información. Esto es especialmente verídico en lo que respecta a las ciencias nucleares.

La información nuclear es uno de los pilares que facilitan el avance de la investigación básica y la ingeniería. Si disponen de información adecuada, científicos e ingenieros podrán aprovechar los resultados de investigaciones existentes para adelantar su trabajo. Sin embargo es preciso hallar un método apropiado para que

dicha información esté disponible. Es este uno de los principios en que se basa un proyecto del ARCAL sobre información nuclear.

A fin de proporcionar adecuados servicios de información para la región de América Latina, ésta debe disponer de centros dinámicos de información para científicos nucleares e ingenieros, y éstos deben constituir el fundamento del cual emanarán todos los servicios en la materia. El cometido principal del proyecto consiste, por lo tanto, en establecer centros de información en la región. El primer paso fue identificar los elementos necesarios para hacer funcionar un exitoso centro de información nuclear. Una vez identificados los requisitos se iniciaron esfuerzos para asegurar la normalización de los cen-



*Los centros de información en países de América Latina como Cuba proporcionan un punto de referencia de información actualizada relativa a las ciencias nucleares.*



*Los centros de información y bibliotecas, como ésta en la Universidad de Costa Rica, facilitan el acceso a revistas y publicaciones técnicas.*

tros en toda la región. A fin de ayudar en la obtención de este objetivo se elaboró un libro del trabajo.

Para iniciar un proyecto los Estados Miembros solicitan el paquete de modelo normalizado de centro de información nuclear. Un experto del OIEA es enviado al país para identificar los elementos necesarios para mejorar los servicios nacionales. A pesar de que las necesidades de cada país son únicas, el carácter

normalizado del paquete proporciona una orientación para ayudar a identificar dichas necesidades. El OIEA proporciona muchos de los componentes esenciales para iniciar un centro. El país en cuestión proporciona los elementos que requieren un apoyo continuo. Esto se transforma en un proceso sinérgico mediante el cual se van mejorando los servicios de información de la región. Varios centros de este tipo se encuentran en diversos estados de desarrollo.

La tecnología de la información está cambiando. En la región de América Latina es necesario suministrar el equipo necesario para dichos cambios. Tradicionalmente, las bibliotecas y centros de información almacenaban su información bajo la forma de libros impresos y revistas. La disponibilidad de nuevos medios de información ha proporcionado a los centros en el mundo entero la capacidad de proporcionar un nivel comparable de servicio.

El primer paso para proporcionar buenos servicios consiste en identificar la información disponible para científicos o ingenieros. La base de datos del Sistema Internacional de Documentación Nuclear (INIS) en memoria de solo lectura sobre disco compacto (CD-ROM) constituye un buen ejemplo de la forma en que se puede ayudar a los centros. La base de datos del INIS del OIEA proporciona referencias bibliográficas de literatura publicada en la esfera de la ciencia y la tecnología nucleares. Mediante una computa-

dora personal, un lector de CD-ROM y el disco CD-ROM del INIS, un especialista en información puede realizar búsquedas muy complejas que anteriormente solo podían realizarse utilizando una computadora principal. Utilizando esta técnica, el centro de Chile, por ejemplo, proporcionó información para asistir en la planificación y apoyo de una conferencia sobre el empleo de isótopos en estudios de fertilizantes.

Otro aspecto básico del proyecto ARCAL de información nuclear es el compartir recursos de información. La entrega de documentos originales como copias de artículos de periódicos, constituye un aspecto básico de los servicios de información. No obstante, a menudo ocurre que el material no se encuentra disponible en un centro. A fin de que dicha información sea más ampliamente accesible se está creando una red regional entre los países participantes en el ARCAL. Esta tendrá inicialmente la forma de una lista de publicaciones periódicas en cada país. Cada vez que se solicite un documento, gracias a esta lista el especialista en información podrá dirigirse al centro más próximo que disponga de la publicación en cuestión. Este intercambio de información permite que cada centro disponga de un mayor acceso a publicaciones básicas de ciencias nucleares.

A fin de elaborar esta red, un experto del Brasil viaja a cada país participante para identificar los títulos de las publicaciones periódicas disponibles. Como parte de este cometido, ayuda al

respectivo Centro a automatizar el procesamiento de las publicaciones periódicas. El establecimiento de esta red se extiende más allá de las organizaciones de energía atómica tradicionalmente asociadas con ARCAL. En México, por ejemplo, esta red incorpora diferentes institutos, como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) con el centro mexicano en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Esta cooperación con otras organizaciones nacionales ayuda a diseminar aún más ampliamente la información nuclear.

La adecuada capacitación de bibliotecarios y expertos en información de la región constituye una parte importante en la elaboración de la infraestructura de información nuclear. Con este fin se celebran cursos de capacitación para proporcionar conocimientos respecto de los más recientes desarrollos en materia de tecnología de la información. En cursos de capacitación de la región se está proporcionando instrucción respecto de la utilización de paquetes de soporte lógico (software), como el CDS/MicroISIS de la UNESCO, que está siendo adaptado para uso propio por el Centro de Información de la Comisión Nacional de Energía Atómica de la Argentina.

Becas de capacitación profunda también ayudan a formar el personal. El Centro de Información Nuclear de la CNEN en Brasil proporciona amplios servicios de capacitación en el trabajo.



*Gracias al disco CD-ROM del OIEA/INIS, especialistas de la información en Colombia pueden realizar complejas búsquedas.*

# Exploración geotérmica

**L**a disponibilidad de recursos geotérmicos, esto es, la posibilidad de explotar el calor generado en el interior de la Tierra con finalidades tales como la producción de energía eléctrica, existe en la mayoría de los países de América Latina. Esto tiene que ver con la subducción de la placa del Pacífico a lo largo de la costa occidental de América del Norte y del Sur, fenómeno que da lugar a la formación de numerosos volcanes, fumarolas y fuentes termales. Una zona de subducción más pequeña, que presenta in-

terés para el continente americano, se sitúa a lo largo de las Antillas menores.

Muchos países de América Latina disponen de un considerable potencial de recursos geotérmicos. Entre éstos figuran todos los países con territorios en la Cordillera de los Andes en Sudamérica, la mayoría de los países de América Central y México. En El Salvador, la electricidad producida a partir de fuentes geotérmicas es la principal fuente de energía, y México, por su



*Exploración de pozos en Laguna Colorada (Bolivia), con miras a su eventual aprovechamiento geotérmico en la producción de energía necesaria para fomentar la explotación de recursos minerales. (Foto: Patilla/Bolivia)*



*Técnicos toman muestras de gases en Homellas, Costa Rica, utilizando un contenedor de muestras.*

parte, ocupa el tercer lugar entre los productores mundiales de energía eléctrica de fuentes geotermales después de los Estados Unidos de América y Filipinas.

Antes de planificar la explotación de un campo geotérmico dado es preciso conocer su naturaleza y evaluar sus principales características. Para este propósito, las técnicas geotérmicas incluyen la utilización de isótopos "ambientales" —aquéllos cuya concentración en compuestos naturales y en el medio ambiente se rige por procesos naturales. Dichas técnicas son muy eficaces y constituyen instrumentos económicos que se usan para evaluar el potencial de los campos geotérmicos.

El objetivo del proyecto ARCAL sobre exploración geotérmica es investigar numerosos campos geotérmicos en América Latina, aprovechando a tales efectos los laboratorios que existen en la región, y recurriendo a la ayuda de laboratorios externos allí donde fuera necesario.

Diversos aspectos de este tipo de exploración no son de fácil acceso. El empleo de técnicas nucleares puede ayudar a la obtención de informaciones tales como la temperatura del campo geotérmico en profundidad, los procesos a que pueden estar sometidos los fluidos geotérmicos

en el transcurso de su recorrido hacia la superficie (mezcla, evaporación, etc.), el origen de sus componentes y la interacción entre el agua y la roca. Entre estos datos, uno muy crucial es el de la temperatura en profundidad, requiriéndose normalmente un valor mínimo de 150°C para la producción de electricidad.

Los equilibrios químico e isotópico dependen de la temperatura. No obstante, dichos equilibrios muy a menudo no se alcanzan plenamente debido a la lentitud cinética, se encuentran enmascarados por otras reacciones y mezclas, o parcialmente modificados por procesos que ocurren durante el ascenso a la superficie. A pesar de que la interpretación es a menudo compleja, se han desarrollado métodos que permiten evaluar la temperatura a partir de análisis isotópicos y químicos, cuya confiabilidad se encuentra dentro de un límite razonable.

Los análisis se realizan en base a muestras tomadas en fuentes térmicas y fumarolas, o en pozos exploratorios si los hubiere. Lo ideal sería que se efectuara una exploración geoquímica antes de efectuar costosas operaciones de perforación y éstas deberían constituir uno de los elementos básicos para decidir si debiera efectuarse un sondeo.

Un programa coordinado de investigación (PCI) en exploración geotérmica se inició en 1984 con un seminario en Morelia, México. En 1985 se iniciaron investigaciones en el campo. El programa concluirá en 1990 con una reunión de coordinación que se celebrará en San José de Costa Rica en noviembre de 1990.

En el marco del programa, durante la primera fase del ARCAL, se investigaron diversos campos geotérmicos. Varios de los campos se encuentran actualmente en proceso de investigación en los nueve países que participan en el programa. Las investigaciones incluyen las siguientes zonas geotérmicas: Copahue y Domuyo, provincia de Neuquén (Argentina); Laguna Colorada, Empexa y Volcán Sajama (Bolivia); Tufiño—Chiles—Cerro Negro en la frontera entre Colombia y Ecuador; Paipa en Colombia; Miravalles en Costa Rica; Chachimbiro, Cuenca y Chalupas en el Ecuador; Zunil, Amatitlán, San Marcos y Tecumburo en Guatemala; Los Humeros en México; Tutupaca, Challapalca y Calientes en el Perú; Las Minas, Mundo Nuevo y Aguas Calientes en Venezuela. Durante el último año del programa se investigarán otras nuevas zonas geotérmicas.

Se prevé que se alcanzarán los objetivos científicos y de investigación del programa. Los resultados de este PCI también tendrán un importante aspecto práctico: la exploración de fuentes potenciales disponibles de importancia

económica, que podrán o no explotarse en el futuro próximo. La decisión respecto de la explotación dependerá esencialmente de factores no técnicos, como los precios corrientes de otras fuentes de energía, las necesidades energéticas en zonas cercanas a los campos geotérmicos, las condiciones económicas prevalecientes en el país en dicho momento y la disponibilidad de financiamiento internacional. Esos factores no son fijos. Por lo tanto, resulta importante conocer las características de los recursos geotérmicos disponibles.

El PCI dio lugar a una colaboración y participación de conocimientos científicos y experiencia técnica sin precedentes en una esfera de gran interés científico y práctico para muchos países de la región. Ha generado proyectos de cooperación técnica de gran escala para la aplicación de isótopos en materia de recursos geotérmicos en Costa Rica y México, por ejemplo, e indirectamente en otros países que no participaron en el programa, tales como El Salvador y Nicaragua.

Institutos y expertos de fuera de la región han ayudado a ejecutar el programa, en particular el Instituto Internazionale per le Ricerche Geotermiche del Consiglio Nazionale per le Ricerche, Pisa (Italia), que ha actuado en calidad de contraparte técnica del programa en el país donante.



*Toma de muestras de gases geotérmicos de un pozo en el campo geotérmico del Volcán Miravalles en Costa Rica. (Foto: Vaca/San José)*

# Aplicación de técnicas isotópicas en hidrología

**E**n la mayoría de los países, y en particular en los países en desarrollo, el abastecimiento de agua de buena calidad para la población, la industria y para los agricultores con fines de riego, constituye un problema de envergadura. Dado que resulta cada vez más difícil encontrar nuevos recursos hídricos, grandes esfuerzos deberían dirigirse hacia la protección y el aprovechamiento racional de los recursos existentes. Los trazadores ambientales juegan un importante papel al respecto.

Las técnicas en que se utilizan isótopos se emplean como instrumentos precisos y modernos para estudiar los recursos hídricos. Estas técnicas pueden proporcionar soluciones adecuadas para resolver problemas relativos al origen, la distribución y las propiedades del agua en una región dada, especialmente cuando se combinan con todos los demás instrumentos disponibles para hidrólogos, hidrogeólogos y geoquímicos.

Un proyecto del ARCAL sobre la aplicación de técnicas isotópicas en hidrología fomenta la aplicación de técnicas isotópicas en las esferas de la evaluación y protección de los recursos hídricos. Esto incluye la evaluación de los procesos de contaminación en grandes sistemas de acuíferos, incluyendo los contaminantes naturales (sal disuelta en aguas subterráneas) y el estudio de la vulnerabilidad de los acuíferos o el riesgo de quedar sometida a procesos de contaminación.

Un trazador ideal para el agua debería presentar un comportamiento lo más similar posible al del agua y, al mismo tiempo, debería ser fácilmente detectable —si fuere posible *in situ*— y

poder inyectarse fácilmente a través de amplias regiones de un sistema hidrogeológico.

Los isótopos artificiales que emiten radiaciones gamma poseen algunas de dichas características porque son fácilmente detectables; en cambio los isótopos ambientales cuya medición es más difícil quedan inyectados en la totalidad del sistema mediante procesos naturales. Isótopos como el tritio, el deuterio y el oxígeno 18 forman parte de la molécula de agua y por lo tanto tienen un comportamiento que es idéntico, o casi, al del agua en el sistema.

En el transcurso de 30 años de investigación y aplicación de isótopos a casos prácticos, ha sido posible acopiar una cantidad considerable de información y conocimientos. Por lo tanto, un hidrólogo experto en isótopos debería ser capaz de seleccionar aquellos isótopos y técnicas que mejor se adecuan a la solución de cada problema hidrológico en particular.

El tiempo de permanencia del agua en un acuífero, que también se denomina "edad" del agua, constituye un importante punto de interés. Diversos isótopos radiactivos pueden desempeñar un papel —según sus períodos de semidesintegración— para resolver la cuestión relativa al tiempo que ha transcurrido desde que el agua que se está estudiando ha estado en contacto con la atmósfera. Aguas subterráneas muy jóvenes implican que la recarga pueda depender de las precipitaciones en un año dado y que una temporada seca pueda traer en consecuencia una merma de las aguas subterráneas. En el otro extremo, aguas subterráneas muy viejas pueden significar que no hay reabastecimiento y que,



*Las técnicas nucleares que utilizan isótopos para estudios de hidrología se emplean en Colombia en el marco de un proyecto ARCAL.*

por lo tanto, no debería extraerse el agua subterránea.

Las investigaciones en el terreno que se están realizando en el marco de este proyecto son las siguientes:

- **Origen de las infiltraciones de aguas salinas** (natural u ocasionado por la explotación): el sistema acuífero de Puelchense en la región de La Plata (Argentina); el acuífero de Cochabamba en Bolivia; las cuencas del Río San José y Salar de Huasco en la región extremadamente árida del norte de Chile; y el acuífero de la Playa de Portezuelo cerca de Montevideo en el Uruguay.
- **Contaminación de efluentes industriales y urbanos y de prácticas agropecuarias:** el acuífero de Bauru en la cuenca experimental del Río Turvo en el Estado de Sao Paulo (Brasil); aguas subterráneas de la cuenca del Río Bermuda en la región de Heredia próxima a San José (Costa Rica); el sistema acuífe-

ro de Laguna Torreón y Saltillo Monterrey, en el Estado de Coahuila en Nuevo León (México); el acuífero de Lima en el Perú, con particular atención a la contaminación que se verifica en la zona del aeropuerto de Naranjal; y el Lago Valencia y los acuíferos circundantes en Venezuela.

- **Consecuencias de la deforestación sobre las aguas subterráneas:** el sistema de aguas subterráneas de la meseta del Ceará, Estado de Ceará (Brasil).
- **Consecuencias de la explotación sobre las aguas subterráneas:** el acuífero de la sabana de Bogotá que es muy explotado para abastecer con agua a la capital de Colombia, así como los acuíferos explotados para el abastecimiento de Ciudad de Guatemala (Guatemala).
- **Evaluación general de los recursos de aguas subterráneas y riesgo de contaminación:** las aguas subterráneas del valle del Río Tempisque en Costa Rica, y el sistema kárstico de Arujo-Aquacata en Cuba.

Con frecuencia las investigaciones se llevan a cabo con la ayuda de expertos de la región. La mayoría de los análisis isotópicos se efectúan en la región. En el marco de la primera reunión de coordinación, que se celebrará en septiembre de 1990 en Porto Alegre (Brasil), se evaluarán los resultados obtenidos en el transcurso del primer año del proyecto.

Se llevaron igualmente a cabo actividades de capacitación que incluyeron un curso de formación avanzada en hidrología isotópica que se celebró en Santiago de Chile en abril y mayo de 1990. El nivel de la capacitación debería mejorarse en diversos países de América Latina dado que una conclusión preliminar del programa indica que la región dispone de conocimientos básicos y bien consolidados. No obstante, en algunos países no existen instituciones preparadas para llevar a cabo investigaciones con técnicas isotópicas. Por lo tanto será necesario incluir algunos cursos fundamentales en el programa.

# Lucha contra insectos y plagas

Las plagas de insectos reducen la disponibilidad de bienes y productos agrícolas y conducen también indirectamente a la contaminación ambiental por el uso indiscriminado de plaguicidas para controlarlas. Un ejemplo clásico y común en el mundo entero lo constituyen las moscas de la fruta por los incalculables daños y pérdidas que causan a la producción de frutas y hortalizas, al mismo tiempo que hacen necesaria la adopción de medidas de cuarentena entre los países provocando pérdidas económicas importantes en los Estados productores.

En América Latina uno de los principales factores limitantes del desarrollo agroeconómico es la presencia de diversos tipos de mosca de la fruta. En 1987, en una reunión de directores de sanidad vegetal de América Latina, el Caribe, los Estados Unidos y el Canadá, patrocinado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, se declaró que el hemisferio se encontraba en una situación de emergencia. Siguió otras reuniones intergubernamentales que dieron lugar a numerosas declaraciones formales respecto de que era vital para el desarrollo económico y social de la región que se pusiera en marcha un programa integrado para la prevención, el control y la erradicación de las moscas de la fruta.

Una técnica nuclear —denominada “Técnica de los insectos estériles” (TIE)— emplea radiaciones para esterilizar insectos que originan plagas en momentos apropiados de su desarrollo, antes de soltarlos en zonas infestadas. Al aparearse, estos insectos no producen descendientes. Con repetidas sueltas, la población de insectos queda drásticamente disminuida o aún erradicada.

En México se ha erradicado la mosca mediterránea de la fruta (Moscamed) utilizando la TIE en combinación con otras tecnologías de lucha. Se estima que los beneficios económicos de esta erradicación ascienden anualmente a más de 500 millones de dólares de los Estados Unidos. Esta campaña, realizada conjuntamente por México y los Estados Unidos de América, se trasladó hacia Guatemala logrando erradicar la Moscamed en aproximadamente el 30% del país. Los beneficios económicos logrados gracias a la erradicación de la Moscamed, así como de otras especies de moscas de la fruta, constituyen la fuerza principal que mueve estas campañas de erradicación que tienden a ser complejas y costosas.

La TIE utilizada para la erradicación de la Moscamed es una tecnología comprobada. Esta técnica se está perfeccionando de manera continuada, en gran parte con el apoyo del OIEA en cooperación con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

En 1989 y 1990 se realizaron en Guatemala y Ecuador proyectos de cooperación técnica relativos a varios aspectos de la TIE aplicada a la mosca de la fruta. El Organismo proporcionó un funcionario que fue enviado a México y Guatemala a fin de transferir técnicas recién desarrolladas de reciclado de dietas iniciales y dietas de cría de larvas para las instalaciones de cría en masa de la Moscamed en dichos países. Los resultados obtenidos son impresionantes: ahorros anuales de aproximadamente un millón de dólares de los Estados Unidos en costos de crianza.



*La producción masiva de moscas mediterráneas de la fruta en México constituye un componente importante de los esfuerzos realizados para su erradicación.*

Respondiendo a las necesidades de la región en 1989 se formuló, en el marco del programa ARCAL, un proyecto sobre la erradicación de la mosca de la fruta utilizando la TIE. El programa prevé contratos de investigación en un total de 10 países y un coordinador regional a fin de asegurar el apoyo recíproco entre los países con respecto a sus actividades.

En 1989, 75 científicos de toda la región participaron en un seminario celebrado en Ciudad de Guatemala sobre la TIE relativa a la mosca de la fruta. Antes del seminario se celebró un curso de capacitación regional en el que participaron 25 personas de la región.

Se ha solicitado al Organismo que proporcione en 1991 servicios de consultor para ayudar a científicos del ARCAL a iniciar estudios relativos a las posibles aplicaciones de la TIE para la lucha contra diversas especies de moscas de la fruta. Ello incluiría asimismo la definición de la infraestructura y capacitación necesarias para llevar a cabo dichas actividades así como asesoramiento respecto de estudios dedicados al ciclo vital y la radiobiología de otras especies de moscas de la fruta.

Se ha previsto otorgar subcontratos para más adelante en el proyecto en países en que no se está aplicando la TIE, al igual que capacitación colectiva respaldada por cursos de capacitación individual.

Los esfuerzos realizados en el marco del programa ARCAL sobre el uso de la TIE para la erradicación de la mosca de la fruta contribuirán sin lugar a dudas a la transferencia de una apropiada tecnología de erradicación en América Latina. Con una sólida base económica dichas actividades permitirán la apertura de mercados de exportación para nuevos productos que gozan de alta demanda. No solo ayudarán a las grandes plantaciones frutales, sino también a los pequeños productores en razón de que este último grupo no dispone de los recursos necesarios para controlar eficazmente las moscas de la fruta mediante plaguicidas.

Los Estados Miembros de América Latina reconocen la importancia que tiene la fruta en su economía agrícola. Y dado que la TIE no tiene repercusión alguna sobre el medio ambiente, el interés por esta técnica demuestra la conciencia que existe respecto de que es preciso reducir el volumen de plaguicidas liberados en el medio ambiente.

A fin de ayudar eficazmente a los países de América Latina a aplicar la TIE al control de las moscas de la fruta o a programas de erradicación, será preciso movilizar recursos extrapresupuestarios. Dichos fondos, si se vuelven disponibles, se usarían para contratos de investigación y coordinación de actividades de contratistas y de gobiernos interesados.

# Orientaciones futuras

**E**n su primera fase (1985-1989) el programa ARCAL registró un crecimiento constante. En muchos aspectos, la segunda fase (1990-1994) debería ser un período de consolidación.

Los países del Grupo Andino, que a inicios del decenio de 1980 habían comenzado a pensar sobre la cooperación en la esfera nuclear para resolver necesidades comunes de la región, lograron suscitar suficiente interés en la cuestión cuando, en 1984, se puso en marcha oficialmente la iniciativa del ARCAL: diez países comenzaron a participar de manera activa en el programa. En el transcurso de los 5 años siguientes, el número de países miembros pasó a 15 de modo que la mayoría de los Estados con actividades nucleares significativas participan en el programa. No obstante, hay algunos países en el Caribe cuyo ingreso en el programa ARCAL pudiera ser benéfico. Se espera que soliciten participación.

Este esfuerzo cooperativo dio lugar a que países de América Latina dispongan de un mejor entendimiento de la infraestructura y la tecnología en la esfera nuclear disponibles en la región. También ha quedado fortalecido en América Latina el concepto de cooperación entre países en desarrollo. Antes del ARCAL los servicios de expertos o de capacitación se solicitaban fuera de la región. Actualmente suelen proporcionarse dentro de la propia región, por lo menos en lo que respecta a cuestiones relacionadas con la ejecución de los proyectos en el marco del programa ARCAL. Es previsible que en los próximos años se verifique un aprovechamiento más intenso de la infraestructura regional, inclusive la que no pertenece a las instituciones nucleares.

Durante la primera fase del programa, los proyectos fueron ejecutados esencialmente por instituciones nucleares en esferas en las que se hallaban directamente involucradas. Durante la segunda fase algunos de estos proyectos continuarán dado que persiguen objetivos a largo plazo y están creando una infraestructura que se necesita con urgencia. Estos proyectos pertenecen a las esferas de la protección radiológica, el mantenimiento de la instrumentación y la información nuclear.

En la esfera de la protección radiológica, la nueva fase concede particular importancia al establecimiento de marcos reglamentadores, normalización de métodos comunes con respecto a principios de seguridad radiológica, incrementos en la disponibilidad de recursos humanos, fomento del intercambio de información sobre seguridad radiológica e integración con otros proyectos ARCAL. En el marco de este proyecto las actividades están planificadas por un período de 5 años.

En lo que respecta a la instrumentación nuclear, la nueva fase encara dos tipos de actividades: desarrollo de conocimientos técnicos en aspectos avanzados de los instrumentos nucleares y mejoramiento del mantenimiento, servicio y reparación del equipo disponible en la región. Al igual que lo que ocurre con el proyecto de protección radiológica, se ha planificado un período de actividades de 5 años.

En la esfera de la información nuclear, la nueva fase, que debería concluir al cabo de tres años, permitirá completar el establecimiento de la adecuada infraestructura de información nuclear dentro de cada país, así como un eficaz sistema regional que permita que los países

participantes compartan información y documentos. Otros proyectos en las esferas de las ciencias pecuarias, producción de juegos para RIA de hormonas tiroideas y el estudio de recursos de hídricos y problemas conexos de contaminación, serán continuaciones de la primera fase. En estos temas, las instituciones que participan en ARCAL están ayudando a resolver problemas nacionales utilizando técnicas nucleares similares.

De manera más específica, en el marco del proyecto de las ciencias pecuarias se tratarán dos esferas durante un período de 5 años. La primera se dedicará al desarrollo de estrategias de suplementos alimentarios para mejorar la productividad de rumiantes autóctonos en pequeñas explotaciones agrícolas. La obtención de estos suplementos alimentarios debería estar dentro de las capacidades económicas de los explotadores. La segunda esfera estará dedicada al diagnóstico y control de enfermedades en el ganado rumiante.

En la esfera de la producción de juegos de RIA de hormonas tiroideas, un plan de actividades de 3 años debería ser suficiente para que pueda establecerse en la región la producción de todos los reactivos que integran dichos juegos, así como su ensayo en un programa exploratorio de hipotiroidismo congénito.

En la esfera de los recursos hídricos y de su contaminación, el objetivo del proyecto iniciado en 1989 es mejorar el conocimiento y la utilización de técnicas isotópicas en el marco de problemas prácticos (uno en cada país participante) en la esfera de las aguas subterráneas. Es probable que el proyecto deba prolongarse a fin de alcanzar sus objetivos.

Durante la segunda fase del ARCAL será preciso establecer otros proyectos que involucren instituciones externas a los establecimientos nucleares en esferas en que la tecnología nuclear pueda contribuir a resolver necesidades comunes. Estas nuevas esferas incluyen las aplicaciones industriales, la agricultura, la producción de radiofármacos y estudios sobre la contaminación ambiental. En la esfera de las aplicaciones industriales se ha propuesto un proyecto sobre el uso de procesos de esterilización, sistemas de control nucleónico y utilización de trazadores. En la esfera de la agricultura se ha elaborado un proyecto sobre incremento de la productividad

agrícola mediante el uso efectivo de recursos edáficos e hídricos así como la aplicación de fertilizantes. Con respecto a los radiofármacos, el objetivo consiste en producir en la región todos los reactivos necesarios para producir los juegos (kits) más comúnmente empleados. En cuanto a la contaminación ambiental, el objetivo perseguido consiste en estudiar problemas específicos de polución y mejorar la infraestructura necesaria para alcanzar dicho fin.

La introducción de estos proyectos no solo incrementará el interés de entidades que se dedican a la producción de bienes o a aspectos del medio ambiente en la región de América Latina, sino también el interés de países y organizaciones que quieran financiar dichas actividades. Otros proyectos de la primera fase dedicados a técnicas analíticas o reactores de investigación se transformarán probablemente en actividades que apoyarán el desarrollo de los proyectos ARCAL.

En el transcurso de la segunda fase se brindará mayor importancia a proyectos más prácticos y orientados hacia los resultados, cuyos objetivos sean alcanzables dentro de los plazos fijados para los proyectos. Se pondrán en marcha nuevos proyectos pero al mismo tiempo se concluirán proyectos de la primera fase. Se ha pensado que no debería incrementarse el número de proyectos y de actividades respectivas a menos que se integren en el programa nuevas contrapartes y temas que sean de interés para las mismas.

El principal objetivo de la segunda fase es lograr una autosuficiencia regional que le permita a los países fortalecer su colaboración mutua. Para lograr dicho cometido será necesario incrementar el nivel de apoyo gubernamental para el programa. Esto se logrará mediante un fuerte apoyo de los Gobiernos nacionales, el suministro de mayores recursos, tanto en especie como en moneda fuerte, así como facilitando la participación de muchas contrapartes en los proyectos.

Tras cinco años de ARCAL, este esfuerzo cooperativo regional constituye un buen ejemplo para otros programas de integración en América Latina. No obstante, el éxito continuado de este programa dependerá de la importancia que sus miembros le otorguen a su fortalecimiento.

*Esta publicación ha sido preparada, diagramada y proyectada por Valerie A. Gillen.*

*Reimpresión hecha  
en Colombia.  
Mayo de 1992*