

# Acerca de la aplicación de las técnicas nucleares y conexas

Luis Felipe Desdín García\*

**L**as técnicas nucleares y conexas brindan notables beneficios en la salud, la agricultura, la industria y otros campos de la vida económica. Su aplicación con adecuadas normas de seguridad, con rigor y profesionalismo constituye en múltiples ocasiones la única solución factible para determinados problemas tecnológicos.

El presente trabajo pretende reseñar de manera muy resumida algunas de las técnicas nucleares y conexas de mayor aplicación en las condiciones de países en vías de desarrollo que son empleadas en el CEADEN y que pudieran ser de interés para los países latinoamericanos.

## 1. Introducción

“Cuando en el invierno francés de 1896 Henri Becquerel anunció al mundo el descubrimiento del fenómeno físico que pasó a la posteridad con el nombre de radiactividad, quizás no sospechaba el inmenso impacto de ese acontecimiento.

Apenas unos meses antes, en noviembre de 1895, en la Universidad de Wuzburg, Baviera, Guillermo Conrado Roetgen había iniciado sin proponérselo, la segunda revolución científica, descubriendo los rayos x, con lo cual no solo puso punto final a la física clásica, sino que además le permitió al hombre verse gráficamente por dentro.

El ingenio humano convirtió inmediatamente ambos aportes en una fuerza productiva, revolucionando como tal vez nunca antes, las concepciones filosóficas de la humanidad<sup>[1]</sup>.

Son ya lejanos los días en que los conocimientos sobre la Energía Nuclear eran patrimonio exclusivo de las Comisiones de Energía Atómica de las grandes potencias, aún hoy su empleo con fines militares sigue constituyendo una amenaza para la paz, la seguridad y el ambiente. Para ella sigue siendo válido el viejo proverbio de que “el paraíso está separado del infierno por un tabique muy fino”.

Sin embargo, pequeños países en vías de desarrollo como Costa Rica y Cuba no pueden ignorar los beneficios de la aplicación de las técnicas nucleares en la salud, la agricultura, la industria y otros campos de la vida económica. Su aplicación con adecuadas normas de seguridad, con rigor y profesionalismo constituye en múltiples ocasiones la única solución factible para determinados problemas tecnológicos. No se trata de la aplicación de estas técnicas a ultranza, sino solo allí donde la relación costo/beneficio lo justifique y donde sus ventajas con respecto a las otras técnicas resultan notables, ellas encontrarán terreno fértil.

La primera centuria del descubrimiento de la radiactividad y de los rayos x es una

\* Vicerrector  
Centro de  
Estudios  
Aplicados al  
Desarrollo  
Nuclear  
(CEADEN),  
La Habana,  
Cuba.

*La inducción de mutaciones con el empleo de radiaciones ionizantes ha resultado ser un método eficaz para lograr variaciones dentro de un tipo de cultivo*

buena ocasión para que "Tecnología en Marcha" propicie una reflexión sobre la trascendencia en la vida del hombre contemporáneo de dicho descubrimiento. Este centenario ha coincidido felizmente con la firma del Convenio de Colaboración entre el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) y el Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN) de Cuba. Dicho Convenio satisface el interés y necesidad del ITCR y el CEADEN de promover y desarrollar conjuntamente programas relativos a investigación conjunta, capacitación y asistencia técnica.

El presente trabajo pretende reseñar de manera muy resumida algunas de las técnicas nucleares y conexas de mayor aplicación en las condiciones de países en vías de desarrollo que son empleadas en el CEADEN y que pudieran ser de interés del ITCR y sus clientes en el marco de la colaboración establecida.

## *2. Radiobiología*

Una tecnología nuclear de amplio uso en la actualidad consiste en el empleo de las radiaciones ionizantes para inducir mutaciones orientadas al mejoramiento de los cultivos.

Si bien la fitotecnia exige la variación genética de las características útiles para mejorar los cultivos, a menudo no se logra la variación deseada. En estos casos pueden emplearse agentes mutágenos como las radiación y algunos productos químicos para inducir mutaciones y generar variaciones genéticas de las cuales puedan seleccionarse las mutantes deseadas.

La inducción de mutaciones con el empleo de radiaciones ionizantes ha resultado ser un método eficaz para lograr variaciones dentro de un tipo de cultivo, ya que ofrece la posibilidad de inducir características deseadas que no pueden ser halladas en la naturaleza o se han perdido durante el proceso evolutivo. Cuando los fitogenetistas no encuentran en

el banco de genes de que disponen, un gen o genes tolerantes a los cambios del ambiente, no tienen otra opción evidente que la de tratar de inducir la mutación<sup>[2]</sup>.

En el CEADEN la técnica de mutación con el empleo de radiaciones ionizantes se combina con los más avanzados métodos de la biología molecular para la caracterización de las mutantes obtenidas. Una vez lograda una mutante promisoría se emplean métodos biotecnológicos para su reproducción acelerada. Este último método se basa en la totipotencia celular, o sea, la capacidad para regenerar plantas totalmente desarrolladas a partir de órganos aislados (meristemas), cortes de tejidos, células individuales y protoplastos. Las partes aisladas de las plantas se cultivan asépticamente en tubos de ensayo con medios artificiales de conocida composición química (cultivo *in vitro*) y más tarde bajo un estricto control, se transforman en plántulas que posteriormente son transferidas al suelo hasta que alcanzan su madurez.

Las técnicas de radiomutagénesis han sido utilizadas en el CEADEN en múltiples cultivos y microorganismos, que abarcan pastos, viandas, arroz, etc. Variedades de arroz como la IACUBA-21, IACUBA-22 e IACUBA-23 son mutantes irradiadas a base de neutrones rápidos y se encuentran en proceso de extensión en el país<sup>[3]</sup>.

Entre los proyectos más interesantes que se ejecutan en este campo podemos citar los siguientes:

- El mejoramiento genético del *Bacillus thuringiensis* mediante radiaciones gamma para obtener cepas más termorresistentes para su empleo como pesticidas.
- Determinación de la resistencia estable del arroz al hongo *Pericularia grisea* mediante técnicas de biología molecular (marcadores moleculares, peroxidasa), que posibilitan el

*El otro campo de las técnicas de irradiación es la radioesterilización de productos de la industria médico-farmacéutica*

establecimiento de los linajes genéticos de esta plaga.

- Marcaje radiactivo de sondas para su estudio como posibles marcadores moleculares (RFLP) en variedades de arroz, malanga y otros cultivos, con vistas a la caracterización genética de los mismos y como ayuda a los programas de mejoramiento genético.
- Caracterizaciones bioquímicas (izoencimáticas) de variedades de plantas.

El otro campo de las técnicas de irradiación donde el CEADEN investiga es la radioesterilización de productos de la industria médico-farmacéutica y en biopreparados.

Una gran variedad de artículos como vendas, suturas, jeringuillas y otros productos médicos, se esterilizan con radiaciones sustituyendo de forma efectiva el calor, los productos químicos o los gases empleados comúnmente para estos fines y que pueden introducir residuos peligrosos. Las dosis de radiaciones empleadas en la esterilización no provoca aumento significativo de la temperatura, por lo que pueden ser utilizadas para esterilizar materiales termosensibles, como los plásticos. Las radiaciones gamma penetran fácilmente a través de envases sellados y permiten mantener almacenados en estado de esterilidad por tiempos largos grandes cantidades de artículos médicos.

En los países industrializados, entre el 40% y el 50% de los productos médicos se radioesterilizan. Se espera que esta cifra aumente a un 80% en años venideros. El tratamiento por irradiación ha demostrado ser mejor que el tratamiento convencional con óxido etilénico en cuanto a seguridad de los trabajadores y los consumidores, la fiabilidad de la desinfección y la simplicidad del tratamiento. Se prevé que esta aplicación se extienda rápidamente en los países en desarrollo<sup>[4]</sup>.

Si bien algunos medicamentos como los antibióticos pueden atacar y destruir bacterias presentes en el organismo humano, ellos no se autoesterilizan. Los fármacos y/o sus adyuvantes asociados (materiales que refuerzan las propiedades de los medicamentos) pueden contener bacterias provenientes de una fuente de origen primario o introducidas durante el proceso de producción. Su esterilización puede convertirse en un problema ya que muchas de esas sustancias reaccionan con el óxido etilénico y producen sustancias químicas tóxicas que son termoinestables<sup>[5]</sup>.

En el CEADEN se han radioesterilizado decenas de productos médico-farmacéuticos y biotecnológicos entre los cuales se pueden citar: leche limpiadora de cutis, acondicionador de cabello, biomodulina T, reconstituyente TROFIN, gamma globulina hiperinmune, suero humano y animal, complemento dietético BIOPLAT, etc.

También en este campo el CEADEN ha trabajado en la radioesterilización de tejido óseo para trasplante y en la activación de polímeros empleados en análisis inmunológico.

Las facilidades experimentales principales para la realización de estos trabajos de técnicas de irradiación son 2 irradiadores gamma de Cobalto-60 y 2 generadores de neutrones (pequeños aceleradores que emplean la reacción nuclear deuterio + tritio) de  $10^{10}$  y de  $10^{12}$  (alto flujo) neutrones/segundo. Se tiene implantado un Sistema de Aseguramiento de la Calidad acorde a las normas ISO-9000 y un intenso intercambio científico con instituciones de tres continentes.

### *3. Análisis y ensayos*

El desarrollo sostenible del ambiente, en todas sus formas, es algo más que un concepto relacionado con la protección de los frágiles ecosistemas de la tierra. En el

*La  
contaminación  
ambiental  
es hoy  
un problema  
mundial  
al que es  
preciso hacer  
frente de  
inmediato*

caso de las personas, es una receta para una mejor salud. Por ejemplo, miles de millones de personas en todo el mundo padecen problemas de salud a causa de la contaminación atmosférica que genera la industria, de la exposición a metales y desechos tóxicos y de parásitos mortíferos que se adaptan rápidamente a las condiciones ambientales insalubres<sup>[6]</sup>.

La contaminación ambiental es hoy un problema mundial al que es preciso hacer frente de inmediato. Antes de cualquier iniciativa para reducir la contaminación, es necesario conocer con certeza tres factores<sup>[7]</sup>:

- Cantidades exactas de sustancias contaminantes y lugares en que se presenta.
- Causas de la contaminación (puede tratarse de reacciones secundarias) y
- Remedio adecuado para evitar la contaminación sin crear otros efectos indeseables.

Entre los contaminantes clásicos se encuentran metales pesados tóxicos. Durante siglos se han extraído y refinado metales pesados tóxicos como el plomo y el mercurio. Lamentablemente, con el transcurso del tiempo, el medio, incluidos los alimentos y el agua potable, se ha contaminado con estos y otros elementos. El arsénico, el cadmio, el cobre, el plomo y el mercurio, entre otros elementos tóxicos, se pueden estudiar mediante técnicas nucleares y otras técnicas conexas. Entre las principales técnicas que se utilizan a ese efecto figuran el análisis por activación neutrónica y el análisis por fluorescencia de rayos x.

El área analítica del CEADEN ha investigado materiales de composición tan variada como minerales y productos de su elaboración tecnológica, aleaciones ferrosas y no ferrosas, muestras del medio ambiente, materias primas y otros; alcanzando una vasta experiencia en análisis de composición química. Rapidez,

exactitud y una alta confiabilidad en los resultados están aseguradas por un sistema de calidad establecido en concordancia con las normas NC-ISO/IEC:25-43 y NC-ISO 9000. Este laboratorio está acreditado por la Oficina Nacional de Normalización de la República de Cuba.

El empleo de un conjunto de técnicas de ensayo que incluyen tanto los métodos más convencionales de la química analítica como las técnicas nucleares más variadas, permiten abarcar un amplio diapasón de posibilidades para satisfacer las necesidades de cada investigación o cliente, minimizando los costos y el tiempo de respuesta.

Para enfrentar las investigaciones ambientales o de otra naturaleza, el CEADEN emplea las siguientes técnicas:

- Fluorescencia de rayos x dispersiva de energía, técnica que permite identificar y cuantificar elementos químicos entre Si y U con carácter no destructivo, multielemental y expreso, con una sensibilidad que alcanza valores hasta de 0,0001%.
- Fluorescencia de rayos x por reflexión total que alcanza una sensibilidad de partes por billón, ideal para el análisis de aguas y líquidos en general.
- Análisis por activación neutrónica, la más poderosa de las técnicas nucleares, con carácter no destructivo, multielemental y una sensibilidad absoluta, que alcanza valores promedio de  $10^{-13}$ g/g.
- Espectrometría de rayos gamma, utilizada como método expreso para determinar la concentración o la actividad de isótopos radiactivos naturales o artificiales.
- Fluorimetría láser, empleada para determinar concentraciones de U en el orden de partes por billón en soluciones acuosas, aguas naturales y minerales.

*En el mundo de hoy los métodos y la instrumentación nuclear y conexas juegan un papel protagónico en múltiples campos de la vida*

- Espectrometría de absorción atómica, polarografía y métodos químicos convencionales.

Los proyectos en ejecución en esta área analítica son los siguientes:

- Estudio de la contaminación atmosférica enmarcado en el programa Nacional de Investigaciones "Los cambios globales y el medio ambiente".
- Determinación de metales pesados en los suelos, agua de riego, etc. De las áreas de los siete cultivos principales (no cañeros) del país.
- Estudio de la contaminación de las bahías cubanas.
- Determinación del contenido de metales pesados tóxicos en aguas termales y productos naturales medicinales.

La explotación segura de las instalaciones nucleares constituye una prioridad de primer orden. La necesidad de explotar las centrales nucleares de una manera eficiente va acompañada de la introducción de estándares de calidad que garanticen una adecuada protección del ambiente.

Por supuesto, vinculado directamente a lo anterior están los materiales que se utilizan en la construcción de las instalaciones nucleares, su calidad influye sensiblemente en su explotación.

El CEADEN ha trabajado en aspectos materiales vinculados al proceso de la construcción de la Central Electronuclear de Juraguá (provincia de Cienfuegos). La paralización temporal de esta obra ha permitido que los conocimientos y experiencia en este terreno se apliquen en otras ramas de la economía. En estos momentos se prestan múltiples servicios de ensayo, certificación e investigación en el área de materiales, estando los mismos acreditados de acuerdo con un Sistema de Aseguramiento de la Calidad basado en las normas ISO-9000.

La prestación de servicios científico-técnicos ha pasado de la ejecución de ensayos a la creación de sistemas de aseguramiento de la calidad específicos para el montaje, puesta en marcha y seguimiento de instalaciones de distintos tipos, por ejemplo, instalaciones de industria biotecnológica y biofarmacéutica.

Las actividades de ensayos alcanzan una amplia gama: técnica de caracterización microestructural y de fases, microscopía electrónica de barrido y microscopía óptica, difracción de rayos x, espectroscopía mossbauer, ensayos no destructivos, ensayos de dureza, impacto, tracción, rugosidad superficial, resistencia a la corrosión, etc.

Esta área también realiza investigaciones encaminadas a la prestación de nuevos servicios científico-técnicos. En esta dirección se trabaja en la producción de detectores de electrones de conversión para espectroscopía mossbauer, en la aplicación de técnicas de aniquilación de positrones y dispersión de electrones para el estudio y control del estado de materiales.

#### *4. Aplicaciones físicas*

En el mundo de hoy los métodos y la instrumentación nuclear y conexas juegan un papel protagónico en múltiples campos de la vida.

Los instrumentos basados en fuentes radioisotópicas permiten alcanzar ciertas ventajas únicas<sup>[4]</sup>:

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

*La medicina nuclear es otro campo de gran aplicación de la instrumentación nuclear*

- Pueden alcanzarse excelentes tasas costo/beneficio.

En la industria estos instrumentos tienen un amplio uso en la automatización de múltiples procesos como la medición de masa por superficie unitaria, mediciones de nivel, mediciones de espesor, densitometría de sólidos, líquidos o suspensiones acuosas espesas, composición elemental, etc.

Otro campo de gran aplicación de la instrumentación nuclear lo constituye la medicina nuclear. En medicina nuclear un radionucleido -en una forma química escogida cuidadosamente- se administra a un paciente para investigar un fenómeno fisiológico específico por medio de un detector especial. La importancia de la medicina nuclear, que es reconocida actualmente como una especialidad médica propiamente, puede apreciarse por el hecho de que uno de cada tres pacientes que acuden a un hospital importante en un país industrializado recibe los beneficios de algún tipo de procedimiento de medicina nuclear<sup>[7]</sup>.

La información obtenida a través de equipos médicos nucleares ofrece una medida de una determinada función fisiológica o bioquímica del organismo. La mayoría de este equipamiento se emplea en diagnóstico.

Entre los proyectos más interesantes que se ejecutan en el campo de la instrumentación nuclear podemos citar los siguientes:

- Densitómetro óseo (DEGOS): equipo de diagnóstico expreso no invasivo para la determinación de osteoporosis y otras enfermedades metabólicas.
- Sistema Monodetector (DETEC) para pruebas diagnósticas de enfermedades de la tiroides, estudios ferrocínéticos, estudios de vaciamiento gástrico, etc.
- Equipo para la medición expresa de humedad en minerales y materiales de

la construcción para el ahorro de cemento en la producción de hormigón.

Las técnicas conexas tienen un amplio uso en el mundo contemporáneo, el láser, los sensores ópticos y magnéticos se emplean ampliamente en la tecnología nuclear y a su vez muchos de sus usos iniciales en este terreno han invadido otros muchos campos de la práctica. Los proyectos fundamentales en los cuales el CEADEN se encuentra enfrascado en esta temática son los siguientes:

- Equipo para la medición de energía y potencia láser.
- Fluorímetro de resolución temporal láser para diagnóstico precoz de cáncer de próstata.
- Láser de nitrógeno de bajo costo para investigaciones biológicas.
- Equipo de medición de tensiones residuales en acero, basado en el efecto magnetoelástico.

Además de los proyectos de investigación, el CEADEN ofrece múltiples servicios científico-técnicos, tales como: mantenimiento y reparación de equipamiento (láser, nuclear, ultrasónico, defectoscopia, instrumentales electrónicos de laboratorio, etc.), servicios de criogenia y vacío, reparación de detectores de semiconductor, etc.

## **5. Conclusiones**

Se ha cumplido el primer siglo de radioactividad, han transcurrido más de 50 años del descubrimiento de la fisión nuclear, las técnicas nucleares han alcanzado gran madurez.

Ha pasado la fiebre de la novedad, la época en que de manera irónica el físico nuclear y Premio Nobel Enrico Fermi dijese que sería magnífico "...si la energía nuclear fuera capaz de curar un resfriado..." Hoy se conocen y se ponderan de una manera más equilibrada y realista los riesgos y

beneficios del empleo de las técnicas nucleares. A la industria nuclear se le debe el nacimiento de una nueva cultura de la seguridad que hoy día abarca nuevos espacios en otras esferas de la actividad humana.

Al enfrentar los retos del desarrollo y la globalización nuestros pequeños países no deben abandonar lo que de bueno y útil ha brindado la energía nuclear. Hoy resulta muy difícil realizar nuevos descubrimientos básicos en el campo nuclear especialmente para los investigadores de países en vías de desarrollo, sin embargo, existen muchas aplicaciones de las técnicas nucleares, que pueden constituir soluciones apropiadas a nuestras condiciones.

Resulta muy estimulante constatar que instituciones de reconocido prestigio como el Instituto Tecnológico de Costa Rica y el Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear de Cuba aúnen esfuerzos para poner a disposición de sus comunidades y clientes, las técnicas más avanzadas para la satisfacción de sus necesidades.

## *Literatura citada*

- [1] Nucleus. *Panorama Nuclear*, No.19, pág. 22 (1995)
- [2] F.J. Novak, H. Brunner. Fitotecnia: tecnología de mutación inducida para el mejoramiento de los cultivos. *Boletín OIEA*. No.4, pág. 26 (1992)
- [3] J.M. Vega. Arroz Cubano. *Ciencia, Innovación, Desarrollo*. Vol.1, No. 2 (1995)
- [4] R. Machi, R. Iyer. Aplicaciones nucleares y de las radiaciones en la industria: Instrumentos Innovadores. *Boletín OIEA*. Vol. 36, No.1, pág. 2 (1994)
- [5] O.G. Phillips. La tecnología de las radiaciones en la cirugía y la industria farmacéutica. Reseña de sus aplicaciones. *Boletín OIEA*. Vol. 36, No. 1, pág. 19 (1994)
- [6] G. Nair y otros. Algunos aspectos de la relación entre la salud y el medio ambiente. *Boletín OIEA*, No. 4, pág. 10 (1994)
- [7] H. Seligman. *Los isótopos en la vida cotidiana*. OIEA. Viena. pág. 56 (1991)