

Aplicaciones nucleares en la sociedad contemporánea

La energía nuclear se dio a conocer a la humanidad en agosto del 45 con las explosiones de Hiroshima y Nagasaki y para nadie son desconocidas las huellas que dejaron en la mente de los hombres estos acontecimientos y aún más cercano a nuestros días, los accidentes de las centrales nucleares de la Isla de las Tres Millas y Chernobil.

Una frase de nuestro Apóstol José Martí, "¿Para qué, sino para poner paz entre los hombres han de ser los adelantos de la ciencia?", ilustra el camino seguido en el uso pacífico de estos progresos tecnológicos.

En la actualidad la tecnología nuclear ha multiplicado sus beneficios de forma permanente en diferentes sectores de la actividad socio-económica, contribuyendo al desarrollo sostenible.

Caracterización de las principales aplicaciones y su influencia en el progreso humano. Tendencias

Las principales aplicaciones de la energía nuclear contemplan actividades tan disímiles y a la vez vitales para el desarrollo sostenible como: generación de energía, salud humana, agricultura y alimentación, recursos hídricos e industria y protección de los medios marinos y terrestres. La presencia de las técnicas nucleares en estas esferas, unido al desarrollo de las nuevas tecnologías, se ha fortalecido a través de los años, y ha estado ligada a una alta preparación de los recursos humanos en la seguridad de su aplicación.

Energía del núcleo para la producción de electricidad

La nuclear sigue apareciendo como una alternativa competitiva frente a la creciente necesidad de energía en el mundo, el aumento cada vez mayor de los precios del petróleo y gas natural, las restricciones ambientales al uso de los combustibles fósiles y las preocupaciones acerca de la seguridad del suministro de energía en varios países.

Al cierre de 2005 existían 443 reactores nucleares para la generación eléctrica en funcionamiento en el mundo, que representan aproximadamente el 16% de la producción mundial de electricidad, 26 centrales nucleares estaban en construcción, la mayoría de ellas (15) en Asia. En general, hubo un aumento neto de la capacidad de 2300 MW(e) en 2005. Entre 1990 y 2004, la producción mundial de electricidad nuclear pasó



Angelina Díaz García

Presidenta de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (AENTA), a cargo del Programa Nuclear Cubano. Es Master en Ciencias Técnicas del Instituto Politécnico de L'vov, Ucrania. Experto del Organismo Internacional de Energía Atómica en Instrumentación Nuclear y Coordinadora Nacional del Acuerdo para la Promoción de la Ciencia y Tecnologías Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL). angelina@aen.energia.inf.cu

de 1901 a 2619 TWh. La capacidad nuclear instalada aumentó de 327,6 a 366,3 GW(e), debido a la construcción de nuevas centrales y al aumento de la potencia de las existentes.

Las proyecciones del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para el 2030 estiman que la capacidad nuclear instalada producirá entre 418 GW(e) (estimación baja) y 640 GW(e) (estimación alta), teniendo en cuenta la clausura programada de las unidades más antiguas. Su distribución por regiones en el 2030 será: América del Norte 115-145 GW(e), América Latina 5,8-15 GW(e), Europa Occidental 79-145 GW(e), Europa Oriental 66-97 GW(e), África 2,1-9,3 GW(e), Oriente Medio y Asia Meridional 18-43 GW(e), Sudeste Asiático y Pacífico 0,9-3 GW(e), Lejano Oriente 131-183 GW(e).

No obstante las ventajas del uso de esta tecnología, los mayores problemas a resolver son los residuos de la industria nuclear y la seguridad. Para su solución la comunidad nuclear dedica grandes esfuerzos, encaminados al logro de la energía nuclear con mínimos residuos, en condiciones de seguridad intrínseca y con características casi renovables —ciclo del uranio 238 y del torio—, y a largo plazo, el desarrollo de la fusión termonuclear.

Salud Humana

Uno de los campos de mayor aplicación de las tecnologías nucleares es la salud humana donde la energía nuclear se puede

aprovechar de diversas formas: con fines de diagnóstico, terapéuticos, esterilización de equipos o material biológico y en la salud nutricional.

Las técnicas nucleares en el diagnóstico y la terapéutica han evolucionado aceleradamente en los últimos años con el desarrollo de nuevos equipos y radiofármacos (estos últimos son sustancias cuya actividad biológica está relacionada desde el punto de vista bioquímico con la patología que se quiera analizar y al suministrárseles al paciente permiten visualizar los cambios metabólicos del organismo).

El mercado de radiofármacos a nivel mundial es de alrededor de 4,6 billones de dólares y crece cada año alrededor de un 20%, realizándose aproximadamente de 20 a 25 millones de procedimientos de medicina nuclear.

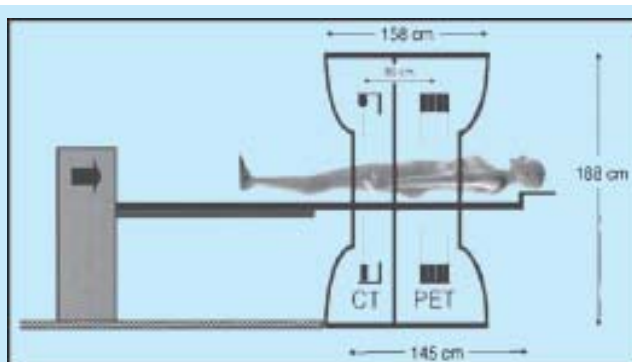
Técnicas nucleares en la Salud Humana

Diagnóstico	Terapia
<i>in vivo</i> <ul style="list-style-type: none"> rayos X tomografía computarizada de simple fotón (SPECT) tomografía por emisión de positrones (PET) <i>in vitro</i> <ul style="list-style-type: none"> radioinmunoanálisis análisis inmunoradiométrico 	<ul style="list-style-type: none"> teleterapia, braquiterapia, radioterapia metabólica

Las aplicaciones nucleares diagnósticas y terapéuticas están muy relacionadas con las nuevas tendencias de la medicina, ya que en estrecha relación con la industria farmacéutica, siempre en busca de moléculas líderes, la Ingeniería genética y la biotecnología continúan aportando nuevos medios diagnósticos y terapéuticos y nuevas vacunas, lo que hace pensar, que la salud pública de los próximos años estará fuertemente dominada por la genética y la farmacología. La imageneología molecular, al permitir caracterizar y medir procesos *in vivo* a nivel celular y molecular, debe estar en el centro de estas aplicaciones, ya que las enfermedades resultan de la introducción de defectos en los sistemas bioquímicos del organismo por virus, bacterias, anormalidades genéticas, drogas, envejecimiento, conducta, medio ambiente. En el futuro, cada paciente se deberá tratar de forma particular relacionando el diagnóstico y tratamiento de su patología con su sistema genético e inmunológico y con sus condiciones específicas de desarrollo. Por ello, la medicina nuclear tendrá un papel protagónico debido al carácter metabólico y funcional de la información que aporta y por su capacidad para cuantificar estos procesos en el tiempo de forma dinámica. Los métodos diagnósticos de la medicina nuclear prestan servicios a casi todas las especialidades médicas.

La tendencia actual de los métodos de obtención de imágenes marcha hacia el concepto de "multimodalidad" aprovechando la información conjunta y fusionada que ofrece una excelente imagen anatómica y estructural (tomografía axial computarizada TAC, resonancia magnética nuclear RMN)

con técnicas que dan una información más específica del funcionamiento y metabolismo (tomografía computarizada de simple fotón (SPECT), tomografía por emisión de positrones (PET)).



Representación del equipamiento combinado TAC-PET.

La medicina nuclear tiene especial importancia en las investigaciones clínicas, pre-clínicas, básicas y tecnológicas que fortalecen y complementan la industria médico farmacéutica y biotecnológica, ya que permite esclarecer el mecanismo de acción de nuevas drogas y de otras conocidas, tanto en animales como en humanos (exploración imagenológica de la biodistribución, farmacocinética y farmacodinámica), contribuyendo además a las investigaciones de novedosas técnicas terapéuticas.

Para el tratamiento y posible cura del cáncer en diferentes zonas del cuerpo se utiliza la radioterapia o terapia con radiaciones, en ocasiones de conjunto con otros fármacos como los sueros citostáticos (quimioterapia), o combinadas con cirugías.

La radioterapia utiliza el poder destructivo de los diferentes tipos de radiaciones ionizantes que al incidir sobre las células malignas, son capaces de provocar su muerte. Este es un proceso que requiere una alta planificación con el objetivo de que sean destruidas solamente las células malignas y sea protegido de la radiación el tejido sano. Cuando la fuente no está en contacto directo con el tumor se denomina teleterapia. Se utilizan fuentes de radiación gamma de cobalto 60 o emisoras como los haces



Tratamiento de un paciente con cáncer mediante el uso de una máquina de teleterapia de cobalto.

electrónicos o neutrónicos. La inserción de una fuente radiactiva sellada en el paciente que se halla en contacto directo con el tumor se denomina braquiterapia, y la radioterapia metabólica es cuando el radiofármaco o compuesto marcado con radisótopos se usa con fines terapéuticos. En la actualidad se utilizan anticuerpos monoclonales radiactivos en el tratamiento de enfermedades cancerígenas. Estas sustancias son proteínas que luchan contra las enfermedades y se dirigen a los tejidos malignos sin afectar otros tejidos. Al adicionársele la radiactividad por medio del marcaje con un radisótopo, fundamentalmente de radiación Beta, se incrementa el daño a las células malignas del tumor, sin afectar prácticamente los tejidos adyacentes.

Otro uso es para disminuir el dolor de las afecciones en los huesos. Cuando los fármacos no logran aliviar el dolor es posible mejorar la calidad de vida de los pacientes mediante la administración de un compuesto que se asocia al hueso marcado con un emisor gamma o electrón como un método de radioterapia.

Existen métodos diagnósticos para la detección de enfermedades y afecciones con el uso de estas técnicas a partir de las muestras de sangre, como es el radioinmunoanálisis (RIA) y el análisis inmunoradiométrico (IRMA), para detectar y medir en un laboratorio componentes químicos y sacar conclusiones sobre enfermedades o deficiencias orgánicas. De esta forma, es posible detectar con total precisión hormonas, vitaminas, enzimas y muchas drogas en los fluidos biológicos. Esta técnica se aplica de forma rutinaria en muchos países para la detección precoz de alteraciones neurológicas importantes, como es el hipotiroidismo en niños aparentemente sanos. Otra aplicación muy importante del radioinmunoanálisis es en el diagnóstico y seguimiento del cáncer por la medición de las sustancias que son segregadas en la mayoría de los tumores.

La prevalencia de las carencias de micronutrientes –también llamada "hambre oculta"– es muy elevada en muchos países en desarrollo, en particular en los grupos de población vulnerables como los lactantes, los niños pequeños y las mujeres en edad de procrear. Las técnicas isotópicas se utilizan para evaluar la situación nutricional de las personas y medir los efectos de los programas nutricionales.

Es importante además el uso de las radiaciones ionizantes para la radioesterilización o desinfección de productos de la industria médico farmacéutica. Los rayos gamma de cobalto 60 se utilizan actualmente como técnica de esterilización en ropas y materiales quirúrgicos y para artículos médicos ya embalados, como jeringas, agujas hipodérmicas, y materiales biológicos como los tejidos que no se pueden someter a otros métodos de desinfección. Esta técnica reviste mucha importancia, ya que se pueden administrar dosis controladas de radiación al envase final evitando la recontaminación del producto, además se eliminan las bacterias que producen infecciones sin cambiar las propiedades biológicas y por último al no generar subproductos no se precisa cuarentena.



Productos biológicos y de la industria médico farmacéutica irradiados.

Agricultura y alimentación

Entre las principales aplicaciones de los isótopos y las radiaciones en el sector de la agricultura y la alimentación está la intensificación sostenible de sistemas de producción de cultivos, ya que por medio de las radiaciones ionizantes se obtienen mutaciones genéticas en las plantas logrando variedades de cultivos agrícolas y hortícolas de alto rendimiento y crecimiento rápido, bien adaptadas al medio (tolerancia a la salinidad y a la sequía) y resistentes a diferentes enfermedades y plagas.

Otra aplicación es la técnica del insecto estéril que se utiliza para el control de plagas en la agricultura con el uso de insectos esterilizados o alterados genéticamente con radiaciones como por ejemplo el uso de la técnica con la mosca de la fruta en América Central, la mosca tse-tsé y el mosquito de la malaria en África.

En la ganadería se logra un mejoramiento del rendimiento reproductivo, empleando la técnica del radioinmunoanálisis (RIA) para la detección temprana de la gestación en el ganado. Con su uso se pueden determinar y mitigar los factores que impiden una producción pecuaria eficiente y mejorar la prestación de servicios de inseminación artificial.

Los radiotrazadores (sustancias marcadas con radionúclidos), coadyuvan a determinar la contaminación originada por los plaguicidas y productos agroquímicos en el medio ambiente y en la cadena alimenticia.

Con el uso de las técnicas de irradiación se puede lograr una mejora de la calidad y de las normas de inocuidad de los alimentos. La irradiación de alimentos con fuentes de Co-60, ofrece ventajas evidentes en términos de neutralización de los microorganismos que provocan enfermedades aumentando el periodo de almacenamiento de los alimentos, sin modificar significativamente sus propiedades alimenticias.

Esta técnica se usa ampliamente como método para eliminar muchos riesgos en la salud proveniente de los alimentos al mejorar la calidad de los productos frescos, y lograr que la producción y distribución de alimentos sea más económica, disminuyendo su costo de almacenamiento y aumentando, asimismo, la calidad del producto. Por medio de la irradiación se desinfectan productos almacenados como granos, frijoles, frutas, ajo, cebolla, tubérculos y pescado desecados.

Con el tratamiento por radiaciones se logran reducir las pérdidas posteriores a la cosecha mediante la eliminación de brotes, de



Comparación entre el estado de conservación de los productos con y sin radioesterilización en igual periodo de tiempo: a) sin irradiación, b) con irradiación.

la contaminación y la prolongación del período de conservación de los productos.

Todos estos procesos se calculan detalladamente antes de efectuarse y posteriormente se realizan rigurosos controles de calidad a los alimentos con el objetivo de comprobar la no afectación de las propiedades alimenticias y otras, producto de la aplicación de las radiaciones.

Recursos hídricos e industria

Un factor decisivo del desarrollo es el acceso al agua potable, que no está al alcance de más de una sexta parte de la población mundial. Las aguas subterráneas aportan más de la mitad del suministro de agua potable en el mundo y es un recurso particularmente importante.

Las técnicas isotópicas se pueden utilizar como un recurso importante en la localización y medición de los recursos hídricos subterráneos a partir de la desigual repartición en el mundo del agua y la escasez del preciado líquido en la actualidad. Con el empleo de trazadores isotópicos se han estudiado exitosamente las interacciones del agua subterránea y la matriz de los acuíferos, permitiendo el trazado de los mapas de acuíferos subterráneos y poner al descubierto las fuentes de contaminación de agua marina en los acuíferos costeros.

Los métodos que se aplican en este caso permiten formular recomendaciones documentadas para la planificación y ordenamiento del uso sostenible de estos recursos hídricos, esenciales para la planificación agrícola, industrial y habitacional.

Actualmente se utilizan los radiotrazadores para evaluar el desplazamiento de los elementos tóxicos y los plaguicidas transportados por el agua en el seno de la tierra y analizar la interacción entre el agua superficial y el agua subterránea.

La utilización de los radisótopos y radiaciones en la industria moderna cobra cada día mayor importancia para el desarrollo y mejoramiento de los procesos, para las mediciones, la automatización y el control de calidad.

Colocando un radiotrazador en el lubricante se puede investigar el desgaste y corrosión en motores y equipos procesadores y realizar estudios de lubricación.

También se aplica la técnica de multitrazadores para estudios de comunicación entre pozos en campos petrolíferos de altamar.

Utilizando una fuente emisora de radiaciones ionizantes capaz de atravesar materiales de gran espesor y un sensor en el otro extremo se pueden realizar mediciones no destructivas, incluso a materiales en movimiento, situación característica en los procesos tecnológicos industriales. Entre los instrumentos están: medidores de densidad (petróleo, tabaco, silos, pasta de papel, polvos, lechadas), indicadores de nivel (silos, pozos, enlatados, botellas), indicadores de espesor de láminas (papel, plásticos, chapas), indicadores de espesor de betumen y otros.

La realización de ensayos no destructivos es posible con la radiografía gamma y el análisis por fluorescencia de rayos X, los cuales permiten sin destruir el objeto visualizar su interior. La radiografía gamma es una técnica no destructiva de control de calidad en soldaduras, fundiciones, ensamblajes, etc. El análisis por fluorescencia de rayos X permite identificar y cuantificar los elementos componentes de los materiales.

Otro aspecto a destacar es la utilización de las técnicas radiotópicas en el estudio y conservación de los objetos de arte que forman parte de la herencia cultural. Para el estudio se utiliza la datación isotópica mediante carbono 14 (isótopo radiactivo con 5730 años de vida media), el cual se produce por la interacción de la radiación cósmica con el nitrógeno del aire. Las plantas vivas captan el carbono radiactivo en forma de dióxido de carbono, y cuando la planta muere, la captación cesa y el carbono 14 de la planta muerta se desintegra en un periodo de aproximadamente 5730 años. Por tanto, cuanto más tiempo lleve muerta la planta, más será el carbono 14 desintegrado, a partir de lo cual se puede calcular el tiempo transcurrido desde la muerte de la planta. Este método permite determinar la edad de objetos que tengan entre 1000 y 40 000 años. Pero los isótopos también permiten conservar las obras de arte sometiéndolas a irradiación.

En la geología se utilizan para determinar la física y la química de los suelos, en investigaciones de rocas, suelos, biología y agua, en la prospección de minerales y del petróleo, en la determinación de la edad de los objetos a partir del estudio del carbono 14. Este método es muy utilizado en estudios de suelos, conchas, sedimentos marinos, árboles, sitios arqueológicos, huesos y tejidos y el estudio del clima para tener una comprensión y previsión detallada de los cambios climáticos que se presentarán en el próximo siglo.

Protección de los medios marinos y terrestres

Los isótopos radiactivos y no radiactivos se usan ampliamente en las investigaciones relacionadas con los cambios climáticos, o contaminación medioambiental, y los métodos para minimizar estos daños. En los isótopos no radiactivos se usan métodos nucleares para su medición como el análisis por activación o la fluorescencia de rayos X.

Los isótopos permiten estudiar el desplazamiento de las sustancias contaminantes en aire, suelo y agua y de esta forma conocer factores como: cantidades exactas de las sustancias

contaminantes y lugares donde se presentan, causas de la contaminación, remedio adecuado para evitar la contaminación sin otros efectos indeseables y la rehabilitación del medio ambiente, ejemplo de ello es el desminado con fines humanitarios a partir de la identificación de los sitios de colocación de las minas por los métodos nucleares en aquellos países que fueron víctimas de conflictos bélicos.

La medición y evaluación de los radionucleidos presentes en el medio marino contribuyen al estudio de las tendencias y de los procesos oceanográficos, por ejemplo: la determinación de la bioacumulación de toxinas de la floración de algas nocivas (FAN) o "marea roja". Los radionucleidos y contaminantes metálicos en los organismos acuáticos son motivo de preocupación en el mundo debido a que el consumo de alimentos marinos es una fuente importante de exposición de los seres humanos a esos contaminantes.

Los radiotrazadores de metales tóxicos, como por ejemplo el cadmio y el zinc han mostrado tasas de absorción inesperadamente altas en peces cartilaginosos (tiburón) en comparación con peces óseos (rodaballo). Ello ha llevado a realizar estudios para determinar la vulnerabilidad de los peces en etapas embrionarias a la contaminación y la exposición a la radiación. Estos datos de radiotrazadores permitirán evaluar los riesgos, en condiciones ambientales reales, de los alimentos marinos de importancia económica.

Los modelos climáticos mundiales dependen en parte de la cuantificación de las exportaciones de carbono, que consiste en determinar la pérdida de material orgánico desde las aguas superficiales del océano hasta las aguas más profundas. Se han efectuado comparaciones entre una técnica radioquímica y los métodos clásicos de trampas de sedimentos, con miras a comprender mejor los procesos de pérdida de carbono bajo distintos regímenes oceánicos.

La desalación nuclear de los mares es otra oportunidad que brinda a los países la posibilidad de explotar los océanos como fuente de agua, coadyuvando al desarrollo sostenible de la humanidad.

El escenario cubano. Realidades y perspectivas

Las aplicaciones de las técnicas nucleares en nuestro país se remontan a la década del 40 con la creación de la Comisión Nacional de Aplicaciones de la Energía Atómica a usos Civiles realizada por el gobierno de turno con fines políticos.

En estos primeros años se destacaron, en primer lugar las aplicaciones en la medicina nuclear. Se reportan que en esa década existían en Cuba ocho equipos de terapia con rayos X, y a finales de esta se introducen las agujas de radio, ya en la década del 50, se dan los primeros tratamientos de cáncer de tiroides con yodo y fósforo radiactivos, y en 1958 se introduce una bomba de cobalto para la irradiación terapéutica. Por otro parte en la industria se habla de la utilización de la defectoscopia

de rayos X de manera esporádica y el uso de instrumentos nucleónicos para la prospección de petróleo por una compañía privada norteamericana.

A pesar de la creación de la Comisión, las aplicaciones introducidas en esos años se desarrollaron fundamentalmente como resultado de acciones individuales de científicos, por lo que los resultados en el territorio nacional no fueron significativos y solo después del triunfo de la revolución es que se dan los verdaderos pasos para la asimilación de las ciencias y tecnologías nucleares con la creación en la década del 60 de infraestructuras científicas basadas en centros de investigación como fueron el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CENIC), el Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR) y posteriormente el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) entre otros.

El Instituto de Física Nuclear de la Academia de Ciencias de Cuba, inaugurado por nuestro Comandante Fidel Castro el 8 de enero de 1969, inició la formación de especialistas nucleares, estimuló el uso de fuentes radiactivas y sirvió de base para la concepción de un programa de desarrollo nuclear, uno de cuyos objetivos sería la construcción de un Centro de Investigaciones Nucleares (CIN).

Para respaldar el desarrollo de este programa nuclear y como consecuencia de la introducción de la nucleoeenergética, se construye la primera planta nuclear de generación de energía. A principios de la década del 80 se reestructura la actividad nuclear, constituyéndose la Comisión de Energía Atómica de Cuba (CEAC), para la coordinación y control de los esfuerzos nacionales de los organismos involucrados en la actividad nuclear. Surge, además, la Secretaría Ejecutiva de Asuntos Nucleares (SEAN) devenida en la actual Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada, perteneciente al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, con su sistema de instituciones, encargadas de aplicar de modo sistemático y profesional las políticas trazadas en el programa nuclear y servir de soporte científico técnico a las diferentes ramas de la economía que se benefician con su uso.

El saldo cultural y los resultados prácticos de una empresa de la magnitud de la Central Electronuclear (CEN) de Juraguá, aún sin llevarla a término se pusieron de manifiesto en el grado de preparación, experiencia y madurez tecnológica alcanzadas por los recursos humanos que se formaron para sustentar ese empeño. De ahí el papel que han estado desempeñando en distintos sectores de la ciencia y la economía los especialistas y directivos que se prepararon para encarar el programa energético nuclear.

En nuestro país existen más de 160 instituciones pertenecientes a diferentes Organismos de la Administración Central del Estado que se benefician de la aplicación de las técnicas nucleares como parte integrante de la solución de los problemas globales que enfrentan. Entre las principales se encuentran los Ministerios de Salud Pública, de la Industria Alimenticia, de la Industria Básica, de Educación Superior, de la Construcción, de la Indus-

tria Azucarera, de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente y de la Agricultura, así como el Consejo de Estado y la Aduana General de la República.

Por otra parte, los necesarios ajustes que ha tenido que realizar el país obligaron a un mejor enfoque de las aplicaciones nucleares no energéticas. Es una realidad la presencia y desarrollo de una infraestructura que abarca campos como la salud humana (radioterapia, medicina nuclear, producción de radiofármacos e investigaciones preclínicas y clínicas de fármacos, incluyendo tecnología de servicios a la industria farmacéutica), las aplicaciones en las esferas de la agricultura y alimentación, industria y recursos hídricos, medio ambiente con la protección de los medios marinos y terrestres, y la existencia de una red técnica para el uso eficiente y seguro de fuentes radiactivas.

Se realizan actividades de ciencia e innovación tecnológica en este campo dentro del Programa Ramal Nuclear el cual en el período 1996-2005 ha obtenido impactos económicos, sociales y científicos. La aplicación de las técnicas nucleares en nuestro país ha estado estrechamente vinculada al Programa de Cooperación Técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica, recibiendo en concordancia con este, la capacitación de los recursos humanos y la instrumentación requerida.

Para dar una idea de la utilización de las técnicas nucleares en Cuba, en la tabla, se muestra una relación de las principales instituciones nacionales que trabajan en este campo por sectores socioeconómicos y áreas de aplicación.

Como resultado de los esfuerzos para impulsar y desarrollar el programa nuclear cubano dirigido a coadyuvar al desarrollo económico del país, sobre la base de la aplicación segura de estas complejas tecnologías y otras conexas (Resultados Programa

Rama	Institución	Tipo de Aplicación
Salud	Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología Hospital Oncológico de Santa Clara	Radioterapia (terapia) Medicina nuclear (diagnóstico, terapia)
	Centro de Isótopos	Producción de Radiofármacos Estudios farmacocinéticos de fármacos
	Centro Internacional de Restauración Neurológica Instituto de Nefrología Centro de Investigaciones Clínicas Instituto de Cardiología	Medicina nuclear (diagnóstico)
	Hospital Oncológico de Santiago de Cuba Hospital Oncológico Holguín Hospital Oncológico de Camagüey	Radioterapia (terapia) Medicina nuclear (terapia)
	Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear	Radioesterilización (tejidos, productos uso médico)
	Complejo Internacional Ortopédico "Frank País"	Medicina Nuclear (diagnóstico) Radioesterilización de tejidos
	Instituto Nacional de Higiene de los Alimentos	Trazadores radiactivos. (estudios de nutrición)
	Centro de Inmunología Molecular	Radiomarcaje radiactivo. (obtención de nuevas moléculas y vacunas para el tratamiento del cáncer)
	Centro Ingeniería Genética y Biotecnología	Radio marcaje radiactivo. (obtención de nuevas moléculas y vacunas para el tratamiento del cáncer)
	Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas Instituto Investigaciones del Aroz Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales	Radiomutagénesis. (obtención de nuevas variedades)
Agricultura e Industria	Instituto de Suelos	Trazadores radiactivos naturales y artificiales (medición humedad, optimización de fertilizantes y agua)
	Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey, Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones	Trazadores radiactivos naturales. (medición erosión)
	Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear	Tecnologías de irradiación. (radiomutagénesis de plantas)
	Instituto de Investigaciones de la Industria Alimenticia	Tecnologías de irradiación. (higienización, descontaminación y conservación de alimentos)
	Instituto Nacional de Sanidad Vegetal	Trazadores radiactivos naturales y artificiales. (optimización de plaguicidas)
	Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas	Tecnología de Trazadores (radiotrazadores) Perfilaje gamma y neutrónico. (optimización procesos industriales)
	Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear Empresa de Mantenimiento a Centrales Eléctricas CENEX (Empresa Servicios Técnicos MINCONS)	Radiografía industrial. (determinación de defectos)
	ACINOX-Tunas	Sistema de Control Nucleónico (medición de nivel)
	Unión del Níquel	Sistemas de fluorescencia rayos X. (medición de calidad de materiales) Sistema de Control Nucleónico. (medición densidad y nivel)
	ENIA	Sistema de Control Nucleónico. (medición compactación de suelos)
Medio Ambiente	Fábrica de Cemento "Karl Marx" Cementos Mariel	Sistemas de fluorescencia rayos X. (control de calidad de materiales)
	CUBALOG	Sistemas control nucleónico y trazadores radiactivos. (prospección petrolífera)
	Instituto Investigaciones Industria Alimenticia Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria	Tecnologías de irradiación. (Radioesterilización, descontaminación de productos uso médico)
	Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos	Trazadores radiactivos naturales y determinaciones analíticas (datación de sedimentos marinos, caracterización hidrográfica de acuíferos y sedimentos)
	Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear	Sistemas de fluorescencia rayos X (determinación analítica de muestras ambientales)
	Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas	Análisis por activación neutrónica técnicas analíticas conexas (determinación analítica de muestras ambientales)
Hidrología	Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones	Trazadores radiactivos naturales (datación muestras)
	Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas	Tecnología de Trazadores /radiotrazadores y trazadores no radiactivos/ (caracterización hidrográfica e hidroquímica de acuíferos)
	Centro Nacional de Hidrología y Ciencias del Agua	Tecnología trazadores y técnicas analíticas nucleares y conexas (caracterización hidrográfica e hidroquímica de acuíferos)
	Instituto Nacional de Recursos Hídricos, Delegación Matanzas	Tecnología trazadores radiactivos naturales y técnicas isotópicas. Técnicas analíticas conexas (caracterización hidrográfica e hidroquímica de acuíferos)
Seguridad radiológica	Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones	Gestión de desechos radiactivos Descontaminación radiactiva de materiales Metrología de radiaciones (dosis) Vigilancia radiológica ambiental Vigilancia radiológica de alimentos y chatarra.
	Centro de Isótopos	Metrología de radiaciones. (medición actividad) Control hermeticidad de fuentes radiactivas selladas
	Centro Nacional de Seguridad Nuclear	Órgano Regulador Nuclear

Ramal Nuclear, 1994-2005. Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada), se han obtenido nacionalmente hasta el presente los logros que resumimos a continuación:

Energía

En este campo se han obtenido resultados relacionados con la aplicación de herramientas tecnológicas desarrolladas para el área nuclear y se han extendido a la planificación del desarrollo energético integral a y la determinación de su impacto ambiental y económico en el país.

Se cuenta con un servicio especializado para la realización de estudios de planificación, expansión de sistemas electroenergéticos y la determinación de externalidades procedentes de la generación de electricidad, que es ofrecido sistemáticamente a la Unión Eléctrica del Ministerio de la Industria Básica.

Salud Humana

Siendo la salud pública así como la industria farmacéutica y biotecnológica sectores de alta prioridad en nuestro país y a su vez áreas donde el uso de la técnicas nucleares han estado aportando cada vez más nuevos métodos para la investigación, el diagnóstico y la terapia, es previsible que sea el sector de mayor incremento en el futuro próximo.

En la actualidad la producción nacional de radiofármacos satisface aproximadamente el 80% de la demanda de los hospitales. Están establecidas las bases del sistema de calidad y de las Buenas Prácticas de Producción (BPP) y se garantizan en el país los servicios de marcaje especializado para las investigaciones de nuevos fármacos.

Actualmente, está en etapa de análisis el equipamiento de medicina nuclear (adquisición de sistemas SPECT más modernos e introducción de los sistemas PET) y radioterapia (fuentes de cobalto 60 y aceleradores lineales más avanzados, intensidad modulada y radiocirugía) con el objetivo de lograr una mayor

eficiencia y efectividad, dentro de los innumerables esfuerzos que se realizan para el mejoramiento de la salud pública de la población cubana.

Se ha logrado un avance en los servicios de medicina nuclear a través de la preparación del personal, un mejor uso de la metrología clínica y nuevos protocolos de trabajo. Asimismo se observa un incremento de la calidad de los servicios de radioterapia a partir de la mayor preparación del personal de física médica, el mejoramiento de la dosimetría clínica y la implementación de auditorías en este campo. Está garantizada la metrología nacional de las mediciones de dosis y actividad, con trazabilidad internacional de los servicios de radioterapia y medicina nuclear del país. Se trabaja, además, por la preparación e integración más efectiva de todos los factores que intervienen en la aplicación de la tecnología en la salud: médicos nucleares, radiofarmaceutas, radioterapeutas, radioquímicos, físicos médicos, especialistas en dosimetría y radiobiólogos.

A partir de la obtención de la materia prima radisotópica (radionúclidos) por medio de su importación, se desarrollaron nuevos radiofármacos para uso en el sistema nacional de salud en las vertientes de diagnóstico y radioterapia metabólica, contándose con la capacidad nacional para la investigación de nuevos fármacos. En este sentido será importante la introducción de ciclotrones (generador de radionúclidos de vida media corta) para la aplicación de la tecnología PET, ya que sus principales indicaciones clínicas se encuentran ubicadas dentro del cuadro de enfermedades de mayor morbilidad en nuestro país: oncología, cardiología y neurología, es relevante su uso en la investigación y desarrollo de nuevos fármacos.

Se han desarrollado metodologías para realizar estudios de nutrición en humanos, las cuales han conllevado estudios en poblaciones infantiles en varias regiones de nuestro país.

Han sido desarrolladas tecnologías de radioesterilización de productos biológicos y de uso médico (tejidos para implante, materias primas para industrias farmacéuticas, productos biológicos, entre otros).



Vistas de las instalaciones de producción de radiofármacos en el Centro de Isótopos.



Equipamiento para la irradiación de productos en nuestro país: a) laboratorio (CEADEN), b) planta piloto (CENSA), c) planta industrial (IIIA).

Agricultura

Haciendo uso de las tres capacidades de irradiación existentes en el país, irradiador de laboratorio del Centro de Aplicaciones y Desarrollo Nuclear (CEADEN), de planta piloto (CENSA), y planta industrial (IIIA) se han obtenido nuevas variedades de arroz y plátano más resistentes a las condiciones ambientales. Asimismo se han desarrollado tecnologías para el tratamiento de alimentos (papa, ajo, cebolla, cacao, cocoa, aletas tiburón, ancas de rana, especias).

Recursos hídricos e industria

En este campo se han desarrollado tecnologías de trazadores radiactivos naturales y artificiales, técnicas isotópicas y técnicas analíticas nucleares para la caracterización hidrológica e hidroquímica y modelación de acuíferos, costas y bahías (Río Almendares, Río Cauto, Cuenca Vento-Almendares, Cuenca Varadero-Cárdenas, Dique Sur, Bahía de Cienfuegos).

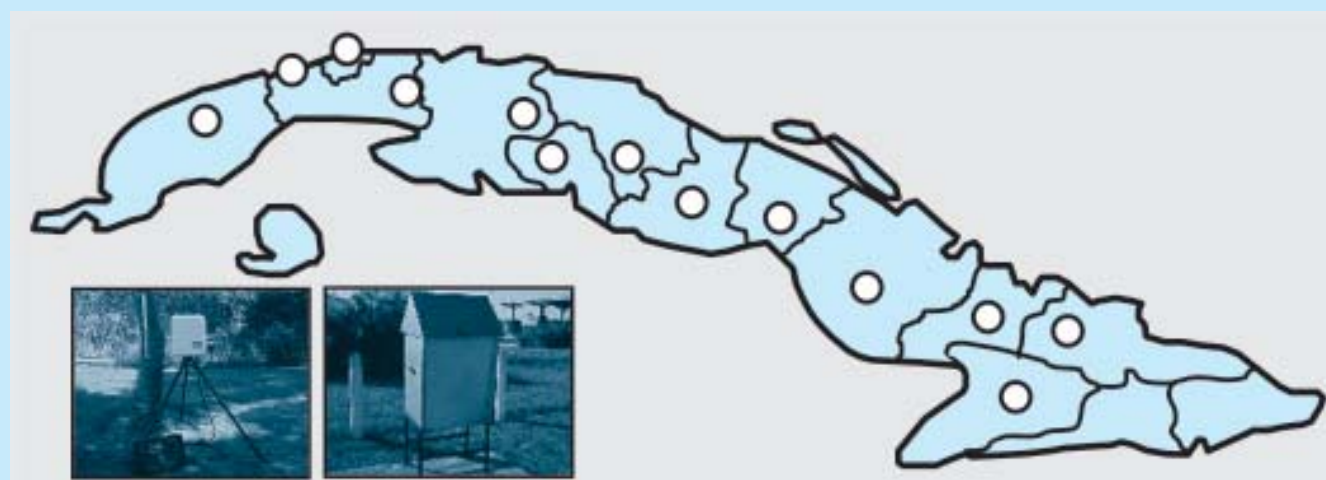
También se cuenta con tecnologías de trazadores implementadas en el país para la optimización de procesos en la industria azucarera.

Seguridad radiológica

Un aspecto imprescindible en el desarrollo y la aplicación de estas tecnologías en cualquiera de sus vertientes es que la seguridad radiológica debe estar garantizada. En este sentido se cuenta en nuestro país con todo el aseguramiento desde el punto de vista de la preparación de los recursos humanos, el equipamiento y el control estricto del cumplimiento de las normativas internacionales existentes. Está establecido el sistema nacional regulatorio para el uso de las radiaciones ionizantes y la contabilidad de materiales nucleares. Es de destacar, además, que contamos con la capacidad nacional para dar respuesta a las emergencias radiológicas.

Existe un sistema nacional centralizado para la gestión de desechos radiactivos de baja y media actividad de todas las entidades del país que los generan.

Se cuenta a lo largo de toda la isla con un sistema de vigilancia radiológica ambiental de la República de Cuba, capaz de notificar cualquier anomalía radiológica incluso si es generada fuera de nuestras fronteras.



Distribución de la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental.

Se posee un sistema de vigilancia radiológica individual de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes de la República de Cuba. Además, contamos con un sistema nacional para determinar la contaminación interna en humanos por materiales radiactivos (estudio realizado a partir de la investigación de los niños afectados por el accidente de Chernobil).

Se cuenta con un sistema nacional para la vigilancia radiológica de alimentos y chatarra.

Actividades integrales

Existen dos actividades de suma importancia, resultado de los esfuerzos realizados a lo largo de todo el período desde el surgimiento del programa nuclear cubano y que se vinculan a todas las áreas de aplicación de estas tecnologías, la primera está relacionada con la existencia de un sistema para la formación nacional integral de pre y postgrado de profesionales del sector nuclear (física nuclear, radioquímica e ingeniería nuclear) en el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas y la segunda con la existencia de un sistema nacional centralizado para la preparación de personal, mantenimiento y

reparación de instrumentación nuclear de uso en la salud, la investigación y la industria. Estas dos actividades aseguran de forma sostenible la aplicación de las técnicas nucleares, por su relación con la preparación continua de los recursos humanos y el funcionamiento estable del equipamiento, condición imprescindible para su desarrollo futuro.

En estos años de actividad en el campo de aplicación de las técnicas nucleares se han obtenido resultados relevantes premiados por la Academia de Ciencias de Cuba que se muestran en el recuadro.

Conclusiones

El Programa Nuclear Cubano en la actualidad ha alcanzado un elevado grado de madurez, contando con un personal de alta calificación, experiencia y compromiso con la Revolución, capaz y dispuesto a enfrentar los nuevos retos de esta tecnología con la máxima seguridad, en beneficio de nuestro pueblo.

Como decía Martí en 1894: "Hay que prever y marchar con el mundo, la gloria no es de los que ven para atrás, sino para adelante". ♦

Premios con reconocimiento de la Academia de Ciencias de Cuba

- Contribución a la detección de rayos X para la imageología médica en angiografía y mamografía digital. CEADEN, 2005
- Comparabilidad internacional de las mediciones de actividad de I-131 TI-201 y Tc-99m realizadas en la medicina nuclear. CENTIS, 2005
- Diversidad genética y utilización comercial de las variedades mejoradas de arroz en Cuba. CEADEN, 2005
- Estudio de la respuesta del daño radiacional gamma de materiales cerámicos superconductores. CEADEN, 2002
- Investigación biomédicas y dosimétricas en niños procedentes de áreas afectadas por el accidente de Chernobil. Resultado científico-técnico anual de la Academia de Ciencias de Cuba. CPHR, 1995.
- Investigación biomédicas y dosimétricas en niños procedentes de áreas afectadas por el accidente de Chernobil. Premio Anual de la Academia de Ciencias de Cuba. Premio Extraordinario "Centenario de la Radiactividad". CPHR, 1997.
- Desarrollo, implementación y control de la calidad del método K_0 y otras técnicas paramétricas del análisis por activación neutrónica instrumental. Premio Anual de la Academia de Ciencias de Cuba. ISCTN, 1997
- Conjunto de métodos analíticos nucleares y conexos para el estudio de la contaminación ambiental en diferentes ecosistemas de interés nacional. Premio Anual de la Academia de Ciencias de Cuba. CEADEN, 1999.
- Tecnología de radioesterilización de productos biológicos. Resultado Científico-Técnico a Nivel Nacional. Academia de Ciencias de Cuba. CEADEN, Instituto Carlos J. Finlay, Instituto Investigaciones Industria Alimenticia. 1992.

Bibliografía consultada

- [1] DIAZ-BALART F.C., Nuclear energy, environmental danger or solution for the 21st Century? First English edition 2005.
- [2] IAEA., Informe Anual 2005 GC (50)/4.
- [3] MARTÍ, JOSÉ, OC. Tomo 11, p 292.
- [4] MARTÍ, JOSÉ, OC. Tomo 3, pp 138-143.