

Aplicación de la tecnología de irradiación en Cuba. Actualidad y perspectivas

Enrique Fco. Prieto Miranda¹, Armando Chávez Ardanza¹, Damaris Moreno Álvarez¹,
Ramón Rodríguez Cardona², Bárbara Pérez Rivero³

¹ Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)

² Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzadas (Aenta)

³ Zona Especial de Desarrollo Mariel

efprieto@ceaden.edu.cu

Resumen

En el presente trabajo se expone la evolución del proceso de irradiación en Cuba, los principales resultados científico-técnicos e impactos alcanzados hasta la actualidad y las perspectivas de estas aplicaciones, así como la recuperación de las capacidades de irradiación existentes en el país, el control del proceso de irradiación, gestión de la calidad del proceso y los aspectos normativos establecidos.

Palabras clave: radioesterilización; control del proceso; fabricación de alimentos; irradiación; instalaciones de irradiación; procedimientos de irradiación.

Application of irradiation technology in Cuba. Present and perspectives

Abstract

The present paper deals with the evolution of radiation processing in Cuba, its main scientific results and impact up to now and the perspectives of these applications, as well as the recovery of the irradiation capacities existing in the country, the radiation process control, quality management in the mentioned radiation process and the established regulatory aspects.

Key words: radiosterilization; process control; food processing; irradiation; irradiation plants; irradiation procedures.

Introducción

A finales de los años 40 del siglo pasado internacionalmente se realizó un esfuerzo investigativo considerable dirigido hacia el conocimiento de los efectos de la radiación sobre todos los tipos de materiales orgánicos e inorgánicos.

En los años comprendidos entre 1930 y 2000 se producen una serie de acontecimientos internacionales relevantes que impulsaron el desarrollo de la tecnología de irradiación en beneficio de la sociedad. Entre estos acontecimientos están los primeros productos polimerizados empleando radiaciones gamma y neutrones rápidos (1939), se funda el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en 1957, la radioesterilización de productos de uso médico a escala comercial (60's), se inicia el Programa de Dosimetría de Altas Dosis (1977), se aprueba la Norma mundial para el tratamiento de alimentos por irradiación (1983) y la irradiación de frutas como control fitosanitario en el 2002 por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USA).

Los resultados de estos esfuerzos ya han producido en el mundo un gran número de aplicaciones del proceso de irradiación en las esferas de la agricultura, la biología, la medicina y la industria.

En el mundo existen, aproximadamente más de 300 irradiadores industriales de cobalto-60 (~75% están ubicados en países desarrollados) y más de 1600 aceleradores de electrones de diferentes rangos de energía (100 Kev-10 Mev) [1].

Los países desarrollados que aplican las tecnologías de irradiación a escala industrial son Estados Unidos, Canadá, Australia, Holanda, Italia, Francia, Rusia, China, España, Portugal y Japón. Y los países en vías de desarrollo que utilizan las tecnologías de irradiación a escala industrial son India, Malasia, Vietnam, Turquía, Irán, México, Brasil, Argentina, Chile, Colombia, Perú, Hungría, Polonia, Ghana, entre otros países.

En el caso particular de Cuba, en el año 1958 se comienza a aplicar la tecnología de irradiación para la esterilización de tejido óseo, que fue el primer banco de tejidos óseos de Latinoamérica y que empleó la radio

esterilización con Cobalto-60. En la década de los 90's del pasado siglo, con la introducción de otras instalaciones, los servicios de irradiación en el país alcanzaron su fase industrial y comercial. Actualmente se dispone de 4 instalaciones de irradiación, una de ella de escala industrial y de especialistas altamente capacitados donde la aplicación de esta tecnología se ha diversificado ampliamente.

En el presente trabajo se exponen los principales aspectos que muestran la evolución de la tecnología de irradiación en Cuba, el desarrollo alcanzado hasta la actualidad y las perspectivas de desarrollo, que incluye las instalaciones de irradiación, principales resultados, sistemas dosimétricos, gestión de la calidad del proceso, normas cubanas, y líneas de investigación-desarrollo y perspectivas.

Evolución de las instalaciones de irradiación en Cuba

La tecnología de irradiación tiene sus comienzos en Cuba en el año 1958, con un irradiador de laboratorio canadiense tipo Knopp Cobalt Source para el tratamiento de tejido óseo para injerto y estuvo ubicado en el actual Complejo Internacional Ortopédico Frank País y fue este el primer banco de tejidos óseos en América Latina que incorpora la radioesterilización en su proceso. Este irradiador fue desmantelado en la década del 80.

En la década del 70 se crea el Departamento de Técnicas de Nucleares del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) donde se comienzan a realizar investigaciones en el irradiador canadiense sobre la irradiación de alimentos como son: papa, cebolla, granos, arroz, harina de trigo, pollo, pescado, ancas de rana, entre otros productos y posteriormente se logra una asimilación integral de esta tecnología, así como de los sistemas dosimétricos para la calibración y control del proceso de irradiación.

En el año 1971 se instala un irradiador de laboratorio ruso, tipo MPX- γ -25 M, con una capacidad de 1 litro y una actividad inicial de 6.03 kCi, en el cual se realizaron investigaciones en el campo de la química de las radiaciones y la radiobiología. Este irradiador primeramente se ubicó en el Grupo de Radiobiología del Instituto de Investigaciones Nucleares (ININ) y luego en 1986 se trasladó hacia el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN). Este irradiador fue desmantelado en el año 2010.

Con la ejecución de un Proyecto de Asistencia Técnica del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) se instala en 1986 en el Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA) un irradiador canadiense de escala piloto, tipo GammaCell 500-01, de 80 litros de capacidad y una actividad inicial de 35,0 kCi. Este irradiador se recargó en el año 1995 y se desmanteló en el 2011. Asimismo, con este proyecto en el año 1987 se instaló una Planta de Irradiación de Alimentos (PIA), rusa, para el tratamiento de papas y cebollas, con una actividad inicial de 67,5 kCi, localizada en el Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria (IIIA), la cual interrumpe el servicio de irradiación en el año 1997 por la baja actividad de sus fuentes de irradiación y la necesidad de modificarlas tec-

nológicamente para dar respuesta a las demandas del mercado nacional.

En el año 1994 mediante un Proyecto de Asistencia Técnica se instala otro irradiador de laboratorio, ruso, tipo MP- γ -30, de una capacidad de 4 litros y una actividad inicial de 10,45 kCi, en el CEADEN, para el desarrollo de las tecnologías de irradiación y brindar servicios de alto valor agregado. Esta instalación se encuentra funcionando actualmente luego de ser recargado con cobalto 60 en 2017 y recuperadas sus capacidades técnicas mediante un proyecto con el OIEA.

Para la coordinación de las actividades de aplicaciones de las tecnologías de irradiación que incluye servicios, investigaciones y comercialización, a solicitud de los centros que tenían estas instalaciones, se crea el Grupo de Trabajo RADION en 1997, La coordinación es realizada por la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (AENTA) y participan el CEADEN, el IIIA, el CENSA e invitados de otras instituciones vinculados con estas aplicaciones.

Principales resultados e impactos alcanzados

Nuestro país ha logrado assimilar adecuadamente la tecnología de irradiación y ha pasado de las fases de investigación y de asimilación tecnológica a la fase de consolidación comercial en los 90's. Se han reportado resultados significativos en la irradiación de alimentos, la descontaminación y/o esterilización de diferentes productos médico-farmacéuticos y de diversos materiales, en el control del proceso de irradiación (Dosimetría de altas dosis) y en la búsqueda de soluciones de ingenierías, como son estudios de la geometría de irradiación, innovaciones en los sistemas de transportación de los productos, desarrollo de contenedores especiales y utilización de refrigerantes, entre otras, para ofertar servicios especializados de irradiación [2]. Destaca como resultado científico-tecnológico, la Tecnología para la radioesterilización de productos biológicos, Resultado Destacado de la Academia de Ciencias de Cuba (1992), con el cual se pudieron recuperar productos biológicos de producción nacional para su aplicación en el sistema nacional de salud.

Dentro de la aplicación de esta tecnología de irradiación se encuentra un amplio número de servicios especializados de manera comercial en el contexto nacional, los cuales se muestran en las tablas 1, 2, 3 y 4 [3, 4, 5, 6]. Además se han irradiado otros productos como películas fílmicas, turba, obras de arte, pupas de borer de la caña y de tetuán del boniato, champú, cremas para cosméticos, entre otros.

Tabla 1. Productos alimenticios

Producto	Dosis (kGy)	Objetivo
Papa	0,08 - 0,10	Inhibición de la germinación
Cebolla	0,06	Inhibición de la germinación
Ajo	0,08	Inhibición de la germinación
Cocoa en polvo	2,0	Descontaminación
Granos	1,0	Descontaminación
Ajonjolí	2,0	Higienización
Aletas de tiburón	6,0	Higienización

Miel de abeja	8,0	Descontaminación
Espicias:		
Pimienta negra	2,0	Descontaminación
Jengibre	1,0	Descontaminación
Cilantro	1,0	Descontaminación
Orégano	2,0	Descontaminación
Pimentón rojo	4,0	Descontaminación
Nuez moscada	4,0	Higienización

Tabla 2. Materiales médico- farmacéuticos

Producto	Dosis (kGy)	Objetivo
Catetes	25,0	Esterilización
Utensilios de transfusión	25,0	Esterilización
Jeringuillas	25,0	Esterilización
Agujas	25,0	Esterilización
Placas SUMA	10,0	Activación
Placas Au-BIOT-VIH	10,0	Activación
Oxigenadores de corazón	25,0	Esterilización
Frascos y placas para cultivo de tejidos	25,0	Esterilización
Membrana amniótica	19,0	Esterilización
Membrana de hidrogel	25,0	Esterilización
Hidroxiapatita	25,0	Esterilización
Filtros	17,0	Esterilización
Mafenida en crema	3,0	Descontaminación
Bariopac en polvo	1,0	Descontaminación
Sulfadiazina de plata	3,0	Descontaminación
Clotrimazol	7,0	Descontaminación
Ranitidina	1,0	Descontaminación
Facdermin	7,0	Descontaminación

Tabla 3. Hierbas medicinales y Suplementos nutricionales

Producto	Dosis (kGy)	Objetivo
Calendula officinalis	6,0	Descontaminación
Passiflora incarnata	7,0	Descontaminación
Matricaria recutita	7,0	Descontaminación
Polen de abeja	6,0	Descontaminación
Cartílago de tiburón	9,0	Descontaminación
Spirulina platensis	4,0	Descontaminación
Trofin	8,0	Descontaminación
Dietal	3,0	Descontaminación
Acitan	3,0	Descontaminación
Bananina	3,0	Descontaminación

Tabla 4. Productos biológicos

Producto	Dosis (kGy)	Objetivo
Suero fetal de ternero	8,0-15	Esterilización
Suero humano liofilizado	8,0	Esterilización
Cultivo de células	0,01-0,1	Inactivación
Sangre para transfusión	0,025	Inactivación
Tejido óseo para injerto	25,0	Esterilización

También se han realizado investigaciones en productos como, carne y embutidos, pollo, mariscos y frutas. En el campo de la radiomutagénesis se han obtenido diferentes mutantes como son arroz, tomate y caña de azúcar, los que han sido introducidos y se continúan investigaciones con otros. Las últimas investigaciones han estado dirigidas a la modificación de matrices poliméricas, el empleo de altas dosis de radiación gamma en diversos materiales para conocer su efecto y el mejoramiento de cultivos de cítricos.

Otro resultado significativo dentro de los muchos obtenidos mediante el empleo del proceso de irradiación es la obtención de membranas de amnio y de hidrogeles, esta última posee su registro médico. Estas membranas han sido aplicadas en tratamientos médicos a pacientes con excelentes resultados

Líneas de investigación-desarrollo y perspectivas

Con relación a las investigaciones y perspectivas a mediano y largo plazo, teniendo en consideración las instalaciones de irradiación existentes, los proyectos en ejecución y las líneas de desarrollo del país, estarán dirigidas al desarrollo de:

- Nuevos cultivos agrícolas de interés nacional resistentes al cambio climático.
- Nuevos productos poliméricos con nanoproducidos como valor añadido para su aplicación biomédica y la gestión ambiental.
- Fortalecer el laboratorio de dosimetría de altas dosis y garantizar los servicios metrológicos en el país, acorde a las normas internacionales.
- Establecer en el país un sistema de vigilancia para la detección de alimentos irradiados
- Nuevas tecnologías para la radio esterilización de material médico-farmacéutico y biológico y de higienización de alimentos y suplementos nutricionales.
- Extender los servicios de irradiación para el tratamiento cuarentenario, de objetos patrimoniales y de desechos.
- Asimilar y contextualizar nuevas herramientas de gestión, análisis económico y de seguridad para una mayor efectividad de los servicios de irradiación
- Desarrollar sistemas de monitoreo de dosis *on-line* para instalaciones de irradiación
- Elevar la cultura empresarial y de la población sobre las aplicaciones de las tecnologías de irradiación y sus beneficios.
- Introducción de nuevas capacidades industriales de irradiación (rayos gama, X y electrón)
- Los servicios de irradiación constituirán a mediano plazo una fuente de sustitución de importaciones en algunos sectores económicos del país.

Recuperación de las capacidades de irradiación existentes en el país

La Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada de Cuba (AENTA), organización promotora y coordinadora de las aplicaciones nucleares, desarrolla a partir del 2005 una estrategia para recuperar las ca-

pacidades de irradiación en el país de conjunto con los centros involucrados afectados por la difícil situación económica de los años 90s, lo que imposibilitó recargar las tres instalaciones de irradiación existentes, la modificación tecnológica de la planta de irradiación y su puesta en marcha, así como la recalificación del personal.

La estrategia para la revitalización de los servicios de irradiación en el país constituyó un planteamiento estratégico que permitió la recuperación de las capacidades de irradiación en el país, fundamentalmente a partir de la cooperación técnica con el OIEA como Socio Estratégico. La estrategia integró la ejecución de varios proyectos nacionales de ciencia e innovación tecnológica (Programa Nuclear de Ciencia y Tecnología), Fondo Nacional de Ciencia e Innovación Tecnológica, proyectos de cooperación técnica con el OIEA (nacionales y regionales), y de cooperación científico-técnica bilateral con Vietnam (Centro de Investigación y Desarrollo de las Tecnologías de las Radiaciones, VINAGAMMA) y Venezuela (Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC).

La capacitación de especialistas, el laboratorio de dosimetría de altas dosis, la recuperación de un irradiador de laboratorio ruso, la introducción de dos nuevos irradiadores de laboratorios húngaros y la modificación tecnológica de la planta de irradiación para convertirla en una planta de irradiación multipropósito de servicios de irradiación y su puesta en marcha, constituyen hitos de esta estrategia. En febrero del 2012 se instala en el CEADEN (Proyecto OIEA) un nuevo irradiador de laboratorio, húngaro, tipo ISOGAMMA LLCo, de una capacidad de 5 litros y una actividad inicial de 24,0 kCi (figura 1), y en 2017 se instala en el CENSA otro nuevo irradiador de laboratorio húngaro (figura 2), tipo *Ob-Servo Ignis*, de una capacidad de 5 litros y una actividad inicial de 24,0 kCi (Proyecto cooperación con Venezuela), ambos irradiadores con el objetivo de desarrollar investigaciones, tecnologías y servicios. En diciembre de 2017 se recarga el irradiador ruso MP- γ -30 (figura 3) y se le da mantenimiento capital, con lo que se recuperan sus capacidades técnicas (proyecto OIEA). La modificación tecnológica de la planta de irradiación (Producto I) y su puesta en marcha (figura 4) culmina en abril del 2019 (Proyecto OIEA y Proyecto de cooperación con Vietnam).

Esta estrategia de capacitación del personal ha sido fundamental y más de 100 especialistas se han capacitado en diferentes modalidades en el país y el extranjero.

La creación de capacidades nacionales para la metrología de altas dosis y para el desarrollo de nuevos productos (Proyectos OIEA) constituyen soportes imprescindibles para el desarrollo y la sostenibilidad de la tecnología.

Se constituye el Comité Técnico Nacional de Normas No.125 "Técnicas de Irradiación" en 2016, que es el soporte normativo para el desarrollo y aplicación de las tecnologías de irradiación acorde a los estándares internacionales.



Figura 1. Irradiador ISOGAMMA LLCo.



Figura 2. Irradiador *Ob-Servo Ignis*.

Dos especialistas cubanos participan en el Primer Encuentro Latinoamericano de Tecnologías de Irradiación en Argentina, octubre de 2014, donde se constituye la Asociación Latinoamericana de Tecnología de la Irradiación (ALATI), un paso más para la integración latinoamericana en el ámbito de las aplicaciones nucleares.

Diferentes acciones de comunicación se han realizado en el país y para promover el empleo de esta tecnología para la población y las entidades del país, así como en el extranjero.



Figura 3. Irradiador MP- γ -30.



Figura 4. Planta de Irradiación.

Control del proceso de irradiación

Los sistemas dosimétricos empleados, tanto en la calibración como en el control del proceso de irradiación, son realizados sobre normas nacionales e internacionales, como son las de la ISO/ASTM (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales). Estos sistemas dosimétricos son los dosímetros Fricke, sulfato cérico-ceroso, etanol-clorobenceno, Perspex Red e indicadores de dosis. [7,8].

Se participó en los ejercicios del Servicio Internacional de Verificación de Dosis (IDAS) del OIEA, con

resultados satisfactorios durante los años 2000, 2001 y 2002, lo que constituye una base sólida de nuestra trazabilidad metrológica internacional.

Se crea en 2015 (Proyectos OIEA, CUB1011 y CUB1012) un laboratorio de dosimetría de altas dosis en el CEADEN, que integra los sistemas dosimétricos anteriormente mencionados y otros como la dosimetría termoluminiscente (TLD), etanol clorobenceno (ECB) y la resonancia espín electrón (ESR). Actualmente los resultados positivos alcanzados en los ejercicios de intercomparación de altas dosis realizados en la región de Latinoamérica (Proyecto Regional OIEA, RLA1013) en los últimos años (2017 y 2019), han demostrado la competencia de estos sistemas.

Gestión de la calidad del proceso y aspectos normativos

Los servicios de irradiación de las instalaciones que se encuentran funcionando actualmente tienen implementado su Sistema de Gestión de Calidad en acuerdo con los requerimientos de la Norma ISO 9001: 2015. Asimismo, existen normas cubanas para la regulación de la irradiación de productos biológicos, NC ISO 11137: 2014 (Esterilización de productos para uso médico. Parte 1, y Esterilización de productos para asistencia sanitaria. Parte 2 y 3) y la norma de irradiación de alimentos, NC 680:2009 (Irradiación de alimentos-Requisitos Sanitarios Generales) [9,10]. Además se aplica la Norma del OIEA Specific Safety Guide. No. SSG-8- Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities, que es aplicada para garantizar la seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación.

Por otra parte, el Comité Técnico Nacional de Normas No.125 "Técnicas de Irradiación" garantiza la adopción de las normas internacionales y la actualización de los aspectos normativos nacionales relacionados con estas tecnologías.

La existencia en el país del **DECRETO-LEY No. 207**. Sobre el uso de la Energía Nuclear, la Dirección Nacional de Seguridad Nuclear (DNSN), rector de las normas y regulaciones de las diferentes practicas nucleares y el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), que vela por la seguridad del personal ocupacionalmente expuesto, así como del público en general y la gestión de desechos radiactivos, en su conjunto ofrecen la seguridad al empleo de la tecnología de irradiación.

Además, en la formación académica de nuevos especialistas se imparten clases en las especialidades de ingeniería nuclear y radioquímica. También se han defendido tesis de grado en las especialidades antes mencionadas, así como en biología y bioquímica.

Conclusiones

La aplicación de las tecnologías de irradiación en Cuba está asimilada y posicionada hasta la fase de comercialización y están creadas las condiciones para su desarrollo porque se dispone de recursos humanos capacitados para la preparación de personal, el desarrollo de investigaciones y la posibilidad de continuar brin-

dando servicios especializados de alto valor agregado. Existen los sistemas dosimétricos para el control de los procesos, la base regulatoria y normativa que garantiza la correcta aplicación de estas tecnologías, así como el correcto funcionamiento de las instalaciones de irradiación a escala de laboratorio e industrial existentes y en perspectiva.

Referencias bibliográficas

- [1]. Radioisotope Products and Radiation Technology Section [website]. Available in: www-naweb.iaea.org/napc/iachem/home.html [consulta: abril, 2019].
- [2]. Informes técnicos de proyectos de irradiación de los Programas Nacional de Ciencia y Tecnología. Aplicación Técnicas Nucleares (PNCT-012, 1988-1993) y Programas de Aplicaciones Nucleares (1996-2017).
- [3]. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia (IIIA). Informes del Servicio de irradiación de la Planta de irradiación de Alimentos (PIA), 1987-1995. La Habana, 1999.
- [4]. PÉREZ, B. Planta de Irradiación de Cuba. Taller sobre los Servicios Tecnológicos basados en la Aplicación de las Técnicas de Irradiación. La Habana. Cuba: IIIA, octubre/ 2012.
- [5]. PRIETO EF. Reseña histórica de la tecnología de irradiación en Cuba. Memorias Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CICTA IX). Cuba, Marzo, 2005.
- [6]. SOLER DM. La tecnología de irradiación en Cuba para la industria bio-farmacéutica y la agropecuaria. Actualidad y perspectiva. Polo Científico. La Habana, Cuba. 2010.
- [7]. PRIETO EF, CHÁVEZ A, CUESTA G. Development and current state of dosimetry in Cuba. IAEA-TECDOC-1070. Vienna: IAEA, 1999. p. 319.
- [8]. IAEA. Dosimetry for Food Irradiation. Technical Report Series No. 409. Vienna: IAEA, 2002.
- [9]. PRIETO EF. La tecnología de Irradiación en Cuba. International Nuclear Atlantic Conference. INAC-2005. Brasil. 2005. ISBN: 85-99141-01-5.
- [10]. PRIETO EF. Current status of the radiation technology and quality control for radiation processing in Latin America. International Nuclear Atlantic Conference. INAC- 2013. Brasil. 2013. ISBN: 978-85-99141-05-2.

Recibido: 27 de junio de 2019

Aceptado: 31 de julio de 2019