

TEMA DE ACTUALIDAD

Medicina Nuclear en el Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Asunción (IICS–UNA): Estado actual y proyecciones

Nuclear Medicine at the Health Sciences Research Institute, National University of Asuncion): Current state and projections

***Pedrozo MG, Velázquez G, Giménez G, Galván P, Grossling B**

Departamento de Ingeniería Biomédica e Imágenes. Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

RESUMEN

En el sector público el Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud (IICS) fue el pionero en la implementación de la medicina nuclear en el país en los años 80, con el apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Desde su implementación el servicio de medicina nuclear del IICS ha servido de apoyo a los pacientes de escasos recursos que acuden al Hospital de Clínicas de la Universidad Nacional de Asunción (UNA), y otras instituciones tanto de la capital como del interior del país, realizando estudios óseos, tiroideos, renales, y cardiológicos, junto con la terapia con yodo radiactivo para el tratamiento del cáncer de tiroides. En el presente año, 2014, el IICS inaugurará una nueva sede en el campus de la UNA en San Lorenzo, que incluye una moderna infraestructura edilicia para el servicio de medicina nuclear, siguiendo las normativas nacionales e internacionales de protección radiológica. A través de varios proyectos de cooperación técnica nacionales y regionales de la OIEA se logró la formación de recursos humanos en el exterior del país, la donación de una gammacamara SPECT (Tomógrafo por emisión de fotón único) que brinda imágenes en 3D, para reemplazar la primera gammacamara planar con que contaba el IICS. De esta manera se podrán realizar muchas de las funciones de esta especialidad, como el diagnóstico, estadificación, tratamiento, pronóstico y seguimiento de enfermedades prevalentes en el país como las metástasis óseas, tiroideas, renales, cardiológicas, gástricas, hematológicas y oncológicas. También está prevista la expansión de la especialidad con la utilización de tecnologías híbridas SPECT/CT, Tomografía por emisión de Positrones/Tomografía Computarizada (PET/CT) y la utilización de radionúclidos de terapias marcados con anticuerpos monoclonales y péptidos.

Palabras clave: medicina nuclear, SPECT, PET, radiofarmacia, protección radiológica.

ABSTRACT

In the Paraguayan public sector, the *Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud (IICS)* was the pioneer in the implementation of nuclear medicine in the eighties with the support of the International Atomic Energy Agency (IAEA). The nuclear medicine service of the IICS has acted as support for the low-income patients that attend the Clinics Hospital of the Faculty of Medical Sciences of the National University of Asuncion (UNA in Spanish) and other institutions of the capital and the countryside, performing bone, thyroid, renal and cardiologic studies together with the radioactive iodine therapy for the treatment of thyroid cancer. In 2014, the IICS will open its new facilities in the campus of the UNA in San Lorenzo, where there will be a modern building infrastructure for the new nuclear medicine service, following national and international guidelines for radiological

*Autor Correspondiente: **Dr. María Gloria Pedrozo**. Departamento de Ingeniería Biomédica e Imágenes. Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay
E-mail: mnuclear@iics.una.py

Fecha de recepción: febrero 2014; Fecha de aceptación: setiembre 2014

protection. Through several projects of national and regional technical cooperation of IAEA, human resources were trained abroad, and a SPECT gamma chamber, providing 3-D images, was donated to replace the first plane gamma chamber the IICS had. Thus, many functions of this specialty would be carried out, such as diagnosis, staging, treatment, prognosis and follow-up of diseases prevailing in the country like bone, thyroid, renal, cardiologic, gastric, hematological and oncological metastases. Also, it is anticipated an expansion of the specialty with the use of the hybrid specialties: SPECT/CT, Positron emission tomography/Computed Tomography (PET/CT) and the use of therapies of radionuclides labeled with monoclonal antibodies and peptides.

Keywords: nuclear medicine, SPECT, PET, radiopharmacy, radiological protection.

INTRODUCCIÓN

Para establecer una línea de base sobre la situación de la medicina nuclear, su uso y aplicaciones de la especialidad en el país y en nuestra institución, además de dar a conocer sobre las perspectivas de su aplicación en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades prevalentes en pacientes del sector público del Paraguay, se presenta este artículo de actualidad.

La medicina nuclear es uno de los campos más dinámicos en Medicina, es la especialidad médica clínica y de laboratorio que utiliza trazadores radiactivos estables para estudiar los cambios fisiológicos, procesos bioquímicos y celulares para el diagnóstico, la terapia y la investigación (1).

Cabe señalar aquí una breve línea del tiempo de la evolución de la medicina nuclear, teniendo en cuenta los hechos más trascendentales para su crecimiento. Los acontecimientos más importantes se observan en la Tabla 1 (2,3).

Tabla 1. Acontecimientos importantes para la evolución de la medicina nuclear

Año	Acontecimiento
1896	Descubrimiento de la radioactividad del Uranio por H. Becquerel.
1923	Introducción de las técnicas de trazadores en la investigación biológica por G. von Hevesy.
1937	Obtención de los primeros radionúclidos artificiales por I. Curie y F. Joliot.
1958	Desarrollo de la gammacamara por H. Anger.
1959	Desarrollo del primer ensayo de radioinmunoensayo por S.A. Berson y R.S. Yalow.
1962	Introducción del ^{99m}Tc por P. Harper y K. Lathrop.
1963	Desarrollo técnico del SPECT (Tomografía por emisión de fotón único) por D.E. Kuhl.
1975	Desarrollo de la técnica de PET por M.M. Ter Pogossian, M.E. Phelps y E.J. Hofman.
1998	Imágenes de fusión con SPECT y CT (Tomografía computarizada) por Bruce Hasegawa y del primer prototipo de PET (Tomografía por emisión de positrón)/CT por D. W. Townsend.

La medicina nuclear ha evolucionado gracias a la mejora técnica de los equipos utilizados, tales como la técnica de detección del ganglio centinela (con la utilización de sondas de detección externa y gamma cámaras portátiles), la tomografía computarizada por emisión de fotón único SPECT, Tomografía por Emisión de Positrones PET, y las modalidades híbridas con la fusión de las imágenes con la proporcionada por la tomografía computarizada (CT): SPECT/CT y PET/CT (3).

Las técnicas de diagnóstico híbridas incluyen ventajas como el más rápido diagnóstico del paciente, debido a que se obtiene en una imagen de rutina la casi instantánea fusión de imagen en un solo examen realizado en la misma exploración, una de estas técnicas es la denominada PET/CT, utiliza ^{18}F FDG (flúordesoxiglucosa) como radiotrazador y ofrece una nueva herramienta para ser utilizada en el desarrollo de protocolos y estrategias en oncología, debido a la precisión, la mejora significativamente con el co-registro de la anatomía y la funcionalidad del órgano, por todo ello se ha demostrado que resulta en una mayor confianza en el diagnóstico y la precisión de la localización de las lesiones en comparación con captación fisiológica (especificidad) y aumento de la detección de la lesión (sensibilidad) (4, 5).

La medicina nuclear utiliza radiotrazadores para la generación de imágenes, como se mencionó arriba. Estos trazadores en la mayoría de las veces están constituidos por reactivos químicos liofilizados los cuales son marcados con radionúclidos de vida media relativamente corta y a este producto se le denomina radiofármaco. La mayoría de los radiofármacos son marcados con Tecnecio metaestable ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) y se aplican en la obtención de imágenes morfológicas y de formación de imágenes dinámicas de muchos órganos en el cuerpo junto con el equipamiento SPECT, la vida media corta del $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (6 horas) obtenido del generador Molibdeno/Tecnecio ($^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$), es un factor importante detrás del uso universal de este radioisótopo (6, 7, 8).

Otro de los radiotrazadores citados anteriormente es el ^{18}F FDG, utilizado para la generación de imágenes moleculares con el equipamiento PET, este proporciona una información de los cambios moleculares y metabólicos asociados a la enfermedad tumoral y posibilita la detección precoz del cáncer, precisa su localización y caracteriza bioquímicamente los cambios terapéuticos producidos en el tejido canceroso, su vida media corta (109 minutos) y su producción en un ciclotrón deben ser tenidas en cuenta a la hora de prever su uso (9).

La correcta marcación y control de calidad de los radiofármacos es de suma importancia dentro del servicio de medicina nuclear, debido a que deben cumplir con estándares internacionales y lineamientos generales para asegurar que estos productos de la radiofarmacia sean estables, seguros y eficaces.

La Tabla 2 menciona la clasificación general dada por el OIEA para los niveles operativos de las radiofarmacias. Cabe resaltar que el laboratorio de radiofarmacia del IICS tiene previsto además el espacio físico para su expansión a una radiofarmacia 2B para la marcación de células sanguíneas, metodología hasta ahora ausente en el país.

Tabla 2. Categorías operativas de las radiofarmacia y su ámbito de acción

Nivel Operativo	Ámbito de acción
1A	Dispensación de radiofármacos obtenidos en su forma final de fabricantes autorizados o farmacias centralizadas, incluye dosis unitarias o dosis múltiples de radiofármacos preparados para los cuales no se requiere otra operación.
1B	Dispensación de radioiodina ¹³¹ Iodo y otros radiofármacos listos para su uso para radioterapia curativa o paliativa, incluye inyecciones listas para su uso de estroncio y samario para paliación del dolor.
2A	Incluye la preparación de radiofármacos de kits de reactivos preparados y aprobados, generadores y radionucleidos (procedimiento cerrado). Esta es la actividad más común en los departamentos de radiofarmacia, con uso rutinario de un generador de tecnecio y la reconstitución de kits fríos de radiofármacos pre esterilizados.
2B	Incluye la marcación de células sanguíneas con radioisótopos tales como glóbulos rojos, plaquetas, y células blancas utilizadas comúnmente para imágenes en casos de infecciones o inflamación.
3A	Comprende la preparación de radiofármacos a partir de ingredientes para ser utilizados en diagnóstico (incluyendo procedimiento abierto), modificación de kits comerciales existentes, producción de kits de reactivos a partir de ingredientes, incluyendo los congelados secos, relacionados con investigación y desarrollo.
3B	Comprende la preparación de radiofármacos a partir de ingredientes y radionúclidos para aplicación terapéutica (incluyendo procedimiento abierto) junto con investigación y desarrollo. Los ejemplos incluyen la radioiodinización de meta-iodobencil guanidina (MIBG – iobenguano) y lipiodol marcado con Renio.
3C	Se realiza la síntesis de radiofármacos para tomografía por emisión de positrones (PET). Esto incluye a las inyecciones de fludesoxiglucosa (FDG). La preparación de radiofármacos producidos por generadores no autorizados o por generadores con largo tiempo de uso como el galio ⁶⁸ Ga o Renio ¹⁸⁸ Re.

Cuando se habla del uso de las radiaciones ionizantes y como es el caso, de medicina nuclear, se deben cumplir con las Normas de Protección Radiológica, las cuales tienen como meta contribuir a lograr el nivel adecuado de protección de las personas y del medio ambiente, de los efectos perjudiciales de la exposición a la radiación sin limitar indebidamente las acciones humanas beneficiosas que pueden estar asociadas a la exposición a las radiaciones ionizantes (10).

Existen principios fundamentales de protección radiológica, los cuales deben cumplirse para el correcto funcionamiento de una institución o centro de medicina nuclear, estos son: justificación de las prácticas, por lo que una práctica que implica la exposición a la radiación sólo debe ser adoptado si produce suficientes beneficios a los individuos expuestos o a la sociedad para compensar el detrimento radiológico, teniendo en cuenta los beneficios y riesgos de otras técnicas alternativas disponibles que no impliquen exposición médica; el segundo principio es el de la limitación de la dosis, el cual menciona que las dosis a las personas son limitados (para profesionales y público), los rangos de estas dosis están expresadas en la Tabla 3, los cuales tienen valores diferenciados para

profesionales en actividad permanente, estudiantes en formación y público en general. Se entiende también que esta limitación de dosis no es aplicable a la exposición médica (pacientes), debido a que el paciente puede necesitar varios estudios y el riesgo beneficio que recibe es compensatorio. Por último, el tercer principio, el cual es la optimización de la protección, por lo cual se debe proporcionar la mejor protección disponible y las medidas de seguridad en el marco del las circunstancias imperantes, de modo a que la probabilidad, magnitudes de las exposiciones y el número de personas expuestas sean tan bajas como sea razonablemente posible, adaptándose a factores económicos y sociales (11).

Tabla 3. Límite de dosis individual para exposiciones a radiaciones ionizantes^{11, 12}

Categoría de la dosis	Exposición ocupacional	Aprendices en formación o estudiantes de 16–18 años	Exposición del público
Dosis efectiva	20 mSv/año en 5 años consecutivos	6 mSv/año	1 mSv/año, en circunstancias excepcionales, 5 mSv/año, siempre que la dosis media sobre 5 años no exceda los 1 mSv/año
Dosis equivalente en cristalino del ojo	150 mSv/año	50 mSv/año	15 mSv/año
Dosis equivalente en extremidades (manos y pies) o piel	500 mSv/año	150 mSv/año	Dosis equivalente a piel de 50 mSv

La Figura 3 muestra el dosímetro de tórax, utilizado para la realización de la dosimetría externa del trabajador operacionalmente expuesto, cuya función es realizar una medición de la cantidad de dosis recibida por los profesionales y salvaguardar así que los límites establecidos como seguros no sean sobrepasados en la práctica.



Figura 3. Dosímetros de tórax de tipo Termoluminiscencia (TLD)

La medicina nuclear en Latinoamérica

En las últimas décadas ha existido un desarrollo significativo de la especialidad en la región de América Latina y el Caribe, pero a su vez el desarrollo y crecimiento entre los países de la región ha sido desigual, lo cual ha ido en desmedro del acceso equitativo de esta tecnología a los sectores de más bajos ingreso y a las poblaciones que viven alejadas de las grandes ciudades y/o capitales. El número total de gamma cámaras en la región es de 1116; Argentina y Brasil son los países con mayor número de equipos: 326 y 450 respectivamente. El número de gamma cámaras fluctúa entre 8,3 y 0,2 con un promedio en la región de dos gammacamara por millón de habitantes. Existe una marcada concentración de estos recursos en los sistemas privados, y concentrados en las capitales y grandes ciudades. El número de médicos nucleares certificados por gamma cámara fluctúa entre 1,5 y 0,4 profesionales por gammacamara y el 93% de las intervenciones son procedimientos de diagnósticos. El cintigrama óseo es el procedimiento más utilizado (44%) seguido por estudios nefrourológicos y endocrinológicos, también los estudios cardiológicos corresponden al menos al 20% del total de procedimientos. En cuanto a tecnología PET, existen en la región 31 equipos instalados seis de ellos PET dedicados y 25 PET/CT, ubicados en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Venezuela, Uruguay y México. En todos estos países existen ciclotrones, los cuales se dedican a la producción de isótopos para tomografía por emisión de positrones, principalmente el ^{18}F para la síntesis de Fluorodesoxiglucosa (FDG/ ^{18}F FDG) (13).

Medicina nuclear en el Paraguay

La institución promotora del uso pacífico de las radiaciones ionizantes es el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA por sus siglas en inglés: International Atomic Energy Agency) y es el centro mundial de la cooperación en el campo nuclear. Fue creada dentro de las Naciones Unidas, y esta agencia trabaja con sus estados miembros y múltiples socios en todo el mundo para promover tecnologías nucleares seguras y pacíficas, contribuye a la transferencia de tecnologías nucleares y conexas, apoya la capacitación y la enseñanza, el asesoramiento de expertos y donación de equipos a sus estados miembros (13).

En el sector público el IICS fue el pionero en la implementación de esta metodología diagnóstica, con el apoyo del OIEA en los años 80 se inició el diagnóstico por medicina nuclear utilizando una gammacamara del tipo planar y reactivos liofilizados marcados con $^{99\text{m}}\text{Tc}$, posteriormente se implementó el tratamiento para enfermedades tiroideas utilizando ^{131}I (14). En nuestro país existen centros privados y públicos de medicina nuclear. Los centros privados de medicina nuclear con tecnología SPECT son tres, y uno de ellos realiza también estudios por PET/CT. En estos centros los reactivos liofilizados, el generador de $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ y el ^{18}F FDG son importados desde países limítrofes (15).

Paraguay como estado miembro ha recibido el apoyo del OIEA y a nivel institucional se ha logrado obtener apoyo a través de proyectos de cooperación técnica, con los aportes necesarios para la reestructuración y puesta en marcha del servicio de medicina nuclear y el laboratorio de radiofarmacia en el IICS, de esta forma nuestra institución inaugurará su nueva sede en el campus de la UNA de San Lorenzo, en donde están contemplados todos los requerimientos nacionales e internacionales de construcción edilicia y de protección radiológica, teniendo en cuenta modelos de instituciones de Latinoamérica en donde altos estándares de calidad son tenidos en cuenta, para ello se realizaron visitas científicas de los directivos de la institución a estos centros de referencia. En los siguientes párrafos se mencionan los proyectos de cooperación técnica del IICS con el OIEA que sirvieron de base para la puesta en marcha del nuevo servicio de medicina nuclear de nuestra institución.

Proyectos de Cooperación Técnica del IICS con el OIEA para fortalecer la medicina nuclear en el sector público del Paraguay.

Proyecto N° 1:

Título: PAR/2/004: Producción de kits fríos de radiofármacos de ^{99m}Tc en el Paraguay

Objetivo: Fortalecer el sistema de diagnóstico de enfermedades renales, óseas, hepáticas, pulmonares y cardíacas mediante la producción de kits fríos (reactivos liofilizados) de radiofármacos de primera generación para marcar con ^{99m}Tc

Producto obtenido: El proyecto concluyó en el año 2009 con la capacitación de un técnico en medicina nuclear, una radiofarmaceuta y un radioquímico en centros de referencia en Latinoamérica en producción de reactivos liofilizados y generadores. Además de la donación de una cabina de flujo laminar.

Instituciones capacitadoras y anfitrionas: Instituto de Pesquisas Energéticas y Nucleares (IPEN) SP – Br. Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) Santiago – Chile. Tecnonuclear S.A. Bs. As – Argentina

Proyecto N° 2:

Título: PAR/60/14: Fortalecimiento de la medicina nuclear en áreas de diagnóstico y tratamiento en el Paraguay

Objetivo: Mejorar la salud de pacientes con cáncer y otras enfermedades prioritarias en el país a través del fortalecimiento de la medicina nuclear en áreas de diagnóstico y tratamiento en el Paraguay

Productos obtenidos: La capacitación de recursos humanos, tales como médico nuclear, radiofarmaceuta, radioquímica, físico, ingeniero clínico, la realización de visitas científicas del Director General y Jefe del Departamento de Ingeniería Biomédica e Imágenes del IICS fueron algunos de los productos obtenidos. También se contó con una misión de experto del OIEA, el cual sirvió para la realización del informe técnico para el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social sobre el cálculo de blindaje de la infraestructura edilicia del servicio de medicina nuclear. Una contribución preponderante dentro de este proyecto consistió en la donación de la Gammacamara SPECT, de doble cabezal, con capacidad de poder ser acoplado a un CT y a un PET.

Instituciones capacitadoras y anfitrionas: Facultad de Medicina, de la Universidad de la República (UdelaR), Montevideo – Uruguay; Hospital de Clínicas de la Facultad de Medicina de la Universidad de San Pablo (HCFMUSP) y Hospital Israelita Albert Einstein, San Pablo-Brasil; Hospital Universitario La Paz y Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) Madrid-España; Centro de Investigaciones Clínicas CIC e Instituto de Nefrología “Dr. Abelardo Buch López”, La Habana-Cuba.

Otro tipo de apoyo recibido por nuestra institución por parte del OIEA son los denominados Proyectos Regionales (ARCAL), en donde se tiene acceso a capacitaciones y cursos de entrenamientos sobre temas de interés comunes entre los países de la región de Latinoamérica. A continuación se numeran dos de ellos y se mencionan los resultados obtenidos.

1. RLA 039: Creación de una Red Latinoamericana de Colaboración y Educación en Medicina Nuclear, sus objetivos principales son el de crear una red de conocimiento en América Latina sobre temas relacionados con radiofarmacia, radioquímica y medicina nuclear, mediante el uso de tecnologías de la información, con el fin de mejorar y fomentar la productividad y la calidad del trabajo y el desarrollo de conocimientos en las citadas disciplinas. Como resultado de este proyecto, el cual concluyó en el 2012, se implementó, junto con la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales FaCEN el curso DAT “Distance Assisted Training” por sus siglas en inglés, el cual es un curso semipresencial desarrollado por expertos del OIEA para técnicos en medicina nuclear, en este contexto también se realizaron misiones de expertos para la realización de talleres teóricos – prácticos y cursos de entrenamiento en instituciones de Latinoamérica.

2. RLA 6074: Apoyo al desarrollo de radiofármacos fabricados a escala regional para la terapia selectiva contra cáncer mediante el intercambio de capacidades y conocimiento y la mejora de las instalaciones, la creación de redes y la capacitación, actualmente en curso y se espera obtener como producto la formación de recursos humanos de los países participantes en la preparación y control de calidad de radiofármacos para terapia, en estudios biológicos y dosimétricos y el desarrollo e implementación de protocolos de validación, el cual inició en el 2014, se extenderá hasta el año 2016 y prevé la formación de recursos humanos en el manejo integral de radiofármacos terapéuticos.

El laboratorio de radiofarmacia del servicio de medicina nuclear del IICS funcionará bajo la modalidad de una radiofarmacia hospitalar con nivel operativo 1B según los lineamientos del OIEA y como se mencionó en la Tabla 2, en el mismo se está autorizado la marcación y control de calidad de reactivos liofilizados con ^{99m}Tc y la dispensación de dosis de ^{131}I y otros radiofármacos listos para su uso para radioterapia curativa o paliativa, esto incluye inyecciones listas para su uso como las soluciones de Estroncio (^{89}Sr) y Samario (^{153}Sm) para paliación del dolor.

La Figura 1 muestra la portada del Manual de Buenas Prácticas de Radiofarmacia, adoptado del OIEA e internalizado por el laboratorio de Radiofarmacia del IICS, con el fin para cumplir con los estándares de calidad en cuanto a la provisión segura y eficaz de los radiofármacos, mientras que la Figura 2 muestra al radiofarmaceuta realizando los controles de calidad rutinarios realizados a los radiofármacos en una radiofarmacia hospitalar antes de ser administrado al paciente.

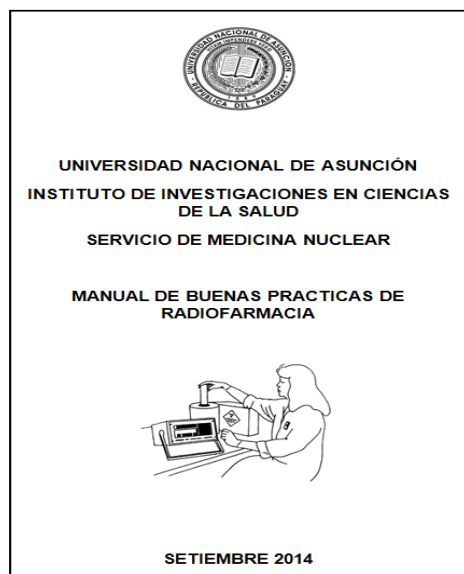


Figura 1. Manual de Buenas Prácticas de Radiofarmacia.

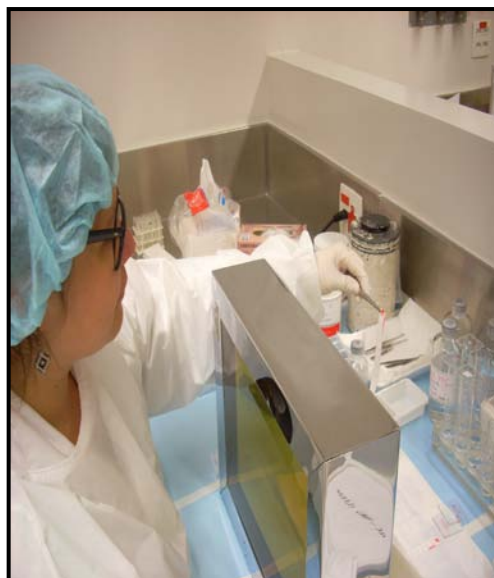


Figura 2. Control de calidad de radiofármacos en una radiofarmacia hospitalar nivel 1B.

Las Figuras 3 y 4 muestran la gammacamara SPECT de doble cabezal donado a la institución por el OIEA, la cual reemplazará a la gammacamara planar con que anteriormente contaba el servicio de medicina nuclear del IICS.

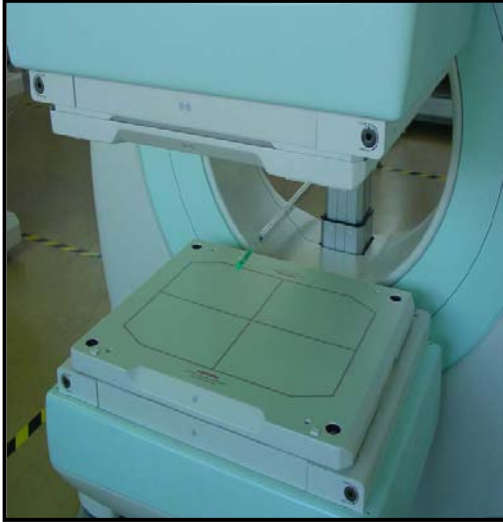


Figura 3. Vista frontal de los detectores de la gammacamara SPECT doble cabezal.



Figura 4. Gammacamara tipo SPECT, doble cabeza.

El SPECT es un equipo de diagnóstico médico que hace que los estudios se realicen en la mitad del tiempo habitual comparado con un equipo planar, lo que en un equipo convencional puede tardar 1 hora, el SPECT doble cabezal lo realiza en 20 minutos y provee información complementaria que los otros métodos no aportan, lo que traerá por consecuencia una mayor comodidad para el paciente y la posibilidad de mayor accesibilidad a un alto flujo de pacientes en el servicio de medicina nuclear del IICS.

También involucra con ello que se necesita la mitad de dosis de radiación de la que normalmente se utilizaba para los pacientes con el equipo anterior, pues los radiofármacos marcados con ^{99m}Tc tienen una vida media de 6 horas y este se degrada a medida que transcurre el tiempo de adquisición de la imagen (16).

La tabla 4, muestra las aplicaciones clínicas del SPECT, junto con la utilización de los diferentes radiofármacos y radionúclidos (17).

Tabla 4. Aplicaciones clínicas de las imágenes obtenidas con la gammacámara SPECT

Tipo de imagen	Radiofármaco	Indicaciones clínicas
SPECT de perfusión cerebral	^{99m}Tc -HMPAO ^{99m}Tc -ECD	Detección y evaluación de la enfermedad cerebrovascular. Diagnóstico positivo y diferencial de las demencias. Localización pre-quirúrgica de focos epilépticos. Evaluación del daño en el traumatismo encéfalo-craneano. Evaluación de pacientes con sospecha de encefalitis herpética. Evaluación de encefalopatía por HIV. Evaluación de trastornos neuropsiquiátricos. Diagnóstico de muerte cerebral.
SPECT para evaluación de tumores cerebrales	^{99m}Tc -Sestamibi	Diagnóstico diferencial entre recidiva tumoral post-tratamiento y edema, fibrosis o necrosis. Otras indicaciones menos frecuentes incluyen: evaluación de la respuesta tumoral al tratamiento, diagnóstico diferencial de lesiones tumorales intracraneales especialmente con procesos inflamatorios en pacientes inmunosuprimidos y elección del sitio para biopsia estereotáxica en procesos tumorales infiltrantes o que contienen zonas necróticas.
SPECT Óseo	^{99m}Tc - MDP	Dolor dorsal o lumbar con estudio radiológico y gammagrafía ósea planar normal o dudosa. Evaluación del cóndilo y la articulación temporomandibular. Diagnóstico de necrosis avascular (cadera, rodilla u otros). Ubicación topográfica de lesiones vistas en imágenes planares. Diagnóstico de secuelas de traumatismos fisarios. Evaluación de dolor en rodilla con imagen planar dudosa.
SPECT Hepatoesplénico con coloides marcados	^{99m}Tc – sulfuro coloidal ^{99m}Tc – sulfuro de amonio	Detección de lesiones focales hepáticas y esplénicas. Caracterización de lesiones demostradas por otros métodos, especialmente la hiperplasia nodular hepática focal. Identificación de bazo accesorio, esplenosis, implante esplénico y asplenia funcional.
SPECT con ^{99m}Tc – Sestamibi en oncología	^{99m}Tc – Sestamibi	Detección y seguimiento de tumores primarios y sitios metastásicos. Diagnóstico diferencial entre tumores benignos y malignos. Diagnóstico diferencial entre viabilidad tumoral, fibrosis y necrosis post-tratamiento. Predicción de la respuesta al tratamiento quimioterápico.
SPECT Renal	^{99m}Tc -DMSA (ácido dimercaptosuccínico).	Se trata de un método auxiliar indicado para confirmar la presencia de lesiones corticales (cicatrices o áreas de infección activa) interpretadas como dudosas en los estudios planares convencionales o con pinhole.
SPECT Pulmonar por perfusión	Macroagregados de albúmina marcados (^{99m}Tc -MAA). Microesferas de albúmina marcadas (^{99m}Tc -MSA).	Se trata de una técnica auxiliar indicada para confirmar la presencia de lesiones dudosas en el estudio planar convencional realizado para la evaluación de tromboembolismo pulmonar (TEP) u otras patologías pulmonares.
SPECT con anticuerpos monoclonales	^{99m}Tc – Anticuerpos monoclonales.	Detección y seguimiento de tumores primarios, metástasis y recidivas. El método se ha empleado sobre todo para neoplasias de colon, cabeza y cuello.
SPECT con ^{131}I para cáncer de tiroides		El SPECT/CT también puede ser útil para distinguir entre tejido residual post tiroidectomía y adenopatías cervicales lo cual posee una implicancia fundamental en la estadificación y pronóstico.
SPECT de paratiroides	^{99m}Tc – Sestamibi	Hiperparatiroidismo primario o secundario. Dificultad en la exploración: cirugía de cuello previa, glándula ectópica. Ausencia de localización con métodos ultrasonográficos. Necesidad de reducir al mínimo el tiempo de la cirugía (pacientes de alto riesgo).

Perspectivas en la búsqueda del mejoramiento de la medicina nuclear en el sector público del país

Se ha presentado al OIEA para el ciclo de cooperación técnica comprendido entre 2016-2017, el concepto de proyecto en la modalidad de Proyecto de Cooperación Técnica, el proyecto titulado: **“Fortalecimiento de la medicina nuclear a través de la aplicación clínica de radiofármacos terapéuticos en pacientes oncológicos en Paraguay”**, el cual buscará a través del uso de radiofármacos terapéuticos, el tratamiento eficaz y la atención a pacientes sin posibilidades de curación y con dolor, dando un énfasis especial en la capacitación de profesionales altamente calificados, equipos y dispositivos con tecnología necesaria para dicha práctica y el cumplimiento de las normas de protección radiológica exigidas para esta especialidad de la medicina.

También con el OIEA se tiene previsto participar de los Proyectos Regionales (ARCAL) los cuales son complementarios a las líneas a ser implementadas en el servicio de medicina nuclear del IICS, estos proyectos son concebidos con el objetivo de dar soluciones a problemas comunes en la región de Latinoamérica y son los siguientes:

1. **“Fortalecimiento de las capacidades físicos médicos y profesionales afines en tecnologías asociadas a la cuantificación de imágenes centellográficas y la terapia con radionúclidos aplicada a la oncología”**, su objetivo es fortalecer la capacitación de recursos humanos en las tecnologías de imagen en medicina nuclear y al aseguramiento de calidad en la dosimetría clínica durante la terapia con radionúclidos en Latinoamérica.

2. **“Programa regional de garantía de calidad en Medicina Nuclear para uso eficiente de las tecnologías híbridas PET/CT y SPECT/CT”**, el objetivo de este proyecto es mejorar la cantidad y calidad de los recursos humanos existentes (físicos médicos, médicos nucleares, radiofarmacéutas y tecnólogos), para el uso de las tecnologías híbridas PET/CT y SPECT/CT, en condiciones de buenas prácticas clínicas y de seguridad radiológica y desarrollar un programa regional armonizado de garantía de calidad para mejorar la eficacia y calidad en el uso de estas tecnologías en Medicina Nuclear.

Otro proyecto que buscará ofrecer a los pacientes un servicio hasta ahora solo disponible en el sector privado y a un costo elevado y muchas veces inaccesible para un diagnóstico precoz del cáncer es el proyecto denominado **“Fortalecimiento de la tecnología de diagnóstico en medicina nuclear a través de la tecnología híbrida Tomografía por Emisión de Positrones/Tomografía Computarizada (PET/CT) en el sector público del Paraguay”**, este tiene como objetivo general el mejorar el acceso al diagnóstico de enfermedades oncológicas de los pacientes a través del fortalecimiento de la tecnología por medicina nuclear utilizando la Tomografía por emisión de Positrones/Tomografía computarizada (PET/CT). Además otros objetivos específicos apuntan a la obtención de productos y resultados tendientes a mejorar la calidad de vida del paciente mediante los siguientes puntos:

1. Equipar con tecnología híbrida PET/CT un centro de medicina nuclear.
2. Brindar un centro de medicina nuclear adecuado a las normas nacionales e internacionales de protección radiológica.
3. Capacitar recursos humanos a nivel de grado y post-grado en áreas de la medicina nuclear, tecnología médica, física médica, radiofarmacia, ingeniería electrónica, ingeniería clínica.
4. Establecer programas de investigación y desarrollo en áreas de aplicación del PET/CT en ciencias biomédicas.

Este proyecto será un aporte vital debido a que el país no cuenta en el sector público, entre las metodologías de diagnóstico por imagen, con la contribución de la modalidad de PET/CT; esta técnica ha demostrado ampliamente su alta relación costo-beneficio, particularmente en oncología, al tener un importante impacto en el manejo de pacientes con cáncer

Teniendo en cuenta que el cáncer en Paraguay constituye la segunda causa de muerte y las estadísticas señalan que a nivel nacional, los tipos de cáncer que más incidencia tienen en el grupo masculino son el de próstata (23,9%) y pulmón (15,7%), en ese orden; sin embargo, el mayor porcentaje de mortalidad se observa por cáncer pulmonar (19,8%). Mientras que en la población femenina la mayor incidencia de cáncer es por mama (28,2%) y en segundo lugar se halla el cáncer de cuello uterino (23,4%), siendo el porcentaje de mortalidad de ambos tipos de cáncer muy similares (18%) (18), todos estos tipos de enfermedades oncológicas además de otras, pueden ser detectados precozmente por la modalidad PET/CT ayudando en la selección más exacta de pacientes candidatos a una cirugía, en la planificación del tipo más apropiado de cirugía o procedimiento radioterapéutico y de quimioterapia incluyendo su seguimiento y evaluación post-terapia.

Entre los posibles entes financiadores de este proyecto de inversión de capital fijo se encuentra el Fondo Nacional de Inversión Pública y Desarrollo (FONACIDE), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), el OIEA y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

CONCLUSION

El servicio de medicina nuclear del IICS contará con todos los aspectos claves para el cumplimiento de los estándares de calidad nacionales e internacionales, teniendo en cuenta los detalles de tecnología avanzada en equipamientos, profesionales capacitados en todas las disciplinas que exigen esta especialidad como lo son los médicos nucleares, radiofarmaceutas, radioquímicos, físicos médicos, ingenieros clínicos, técnicos imagenólogos y la provisión segura y eficaz de los radiofármacos a través de un laboratorio de radiofarmacia debidamente equipada y con profesionales capacitados en la realización de la elución del material radioactivo, la marcación de los reactivos liofilizados (kits fríos), el control de calidad de los radiofármacos, el fraccionamiento de las dosis y la correcta gestión de los residuos generados en dicha dependencia.

El único servicio de medicina nuclear público con tecnología SPECT, estará disponible en la Universidad Nacional de Asunción, en el servicio de medicina nuclear del IICS, y será una alternativa de diagnóstico en oncología y otras patologías con base en la generación de imágenes funcionales, en donde se utiliza principalmente radionúclidos como el ^{99m}Tc Tecnecio y el ^{131}I Iodo. El servicio de medicina nuclear del IICS ha servido de apoyo principalmente a los pacientes de escasos recursos que acuden al Hospital de Clínicas de la Facultad de Ciencias Médicas de la UNA, así como para pacientes provenientes de otras instituciones ya que como lo menciona el informe del OIEA sobre Paraguay, denominado "Misiones integradas del PACT" (Programa de acción para Terapia del Cáncer: imPACT, 2011) presentado en año 2011 al Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, se evidencia una falta de cobertura de la asistencia por técnicas de medicina nuclear a pacientes del sector público. La capacidad de brindar estudios de diagnóstico por medicina nuclear con el equipamiento, recursos humanos e infraestructura de la nueva sede del IICS puede ser de 2000 pacientes anuales, pudiéndose duplicar este número teniendo en cuenta las expansiones previstas en esta área.

La asistencia también podrá ser realizada a otras instituciones privadas con la provisión de radiofármacos específicos hasta ahora no implementados en el país como lo son los radionúclidos marcados con pépticos y anticuerpos monoclonales, utilizados para el tratamiento del linfoma no Hodgkin, tumores neuroendócrinos, entre otros, funcionando así como una radiofarmacia centralizada.

Se podrá apoyar la formación de recursos humanos, a través de las diferentes facultades de la UNA que dictan carreras afines a esta especialidad, en el área de grado y post – grado, tales como tecnicatura y licenciatura en imágenes, curso DAT para tecnólogos en medicina nuclear, maestría en física de la Radioprotección (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales); residencia en Imágenes (Facultad de Medicina);

Radiofarmacia (Facultad de Ciencias Químicas), y la posibilidad de crear la residencia en medicina nuclear y física médica en el país, y así paliar la problemática del envío de los profesionales para ser formados en el exterior a falta de carreras de grado y post – grado en el país.

La apertura de nuevas líneas de investigación en enfermedades prevalentes en nuestro país por técnicas de medicina nuclear será realizada a través de la participación en redes nacionales, regionales e internacionales y lograr así aportar nuevos conocimientos para la mejora de la salud y la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Graham M M, Metter D F. Evolution of nuclear medicine training: Past, present, and future. *J Nucl Med*. 2007; 48(2): 257-68.
2. Ministerio de Sanidad y Consumo, Ministerio de Educación y Cultura, Consejo Nacional de Especialidades Médicas. Guía de Formación de Especialistas: Medicina Nuclear [Internet]. Madrid: Ministerio de Sanidad y Consumo; 1996 [Consultado 20 de jul de 2014]. Disponible en: http://www.msssi.gob.es/profesionales/formacion/docs/Medicina_Nuclear.pdf
3. Pons F, Lapeña L, Freire JM. Procedimientos de medicina nuclear (Editorial). *Rev Esp Med Nucl*. 2009; 28(2):47.
4. Dondi M, Palm S, Haji-Saied M. Planning a clinical PET centre. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2010.
5. Massardo T, Canessa J, Jofré MJ, González P, Humeres P, Sierralta P. Utilidad de la desoxiglucosa marcada con flúor-18 (FDG) en el manejo de los linfomas. *Rev Med Chile*. 2006; 134(7): 910-9.
6. Solanki K. Operational guidance on hospital radiopharmacy: A safe and effective approach. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2008.
7. Pillai MRA. Technetium-99m radiopharmaceuticals: status and trends. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2009.
8. Pillai MRA. Technetium-99m radiopharmaceuticals: manufacture of kits. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2008.
9. Domenech T. Técnicas actuales de medicina nuclear. *Med Clin (Barc)*. 2010; 134(13):589–90.
10. Comisión Internacional de Protección Radiológica. Publicación 103 ICRP: Las recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Madrid: Sociedad Española de Protección Radiológica; 2007.
11. Ortiz López P. Applying radiation safety standards in nuclear medicine. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2005. Safety reports series N° 40.
12. Ley 140/92, decreto N° 10754 Reglamento nacional de protección contra las radiaciones ionizantes y para la seguridad de las fuentes de radiación. Asunción, (6 de oct de 2000)
13. International Atomic Energy Agency, Department of Technical Cooperation, Division for Latin America. Perfil estratégico regional para América Latina y el Caribe (PER) 2007- 2013. Vienna: IAEA, ARCAL; 2008.
14. Sosky RA. Comparación de imágenes de la glándula tiroidea obtenida con ^{99m}Tc y radioyodo. *Revista del IICS*. 1984; 1(2):25-31.
15. Instituto Codas Thompson. Departamento de Medicina Nuclear [Internet]. Asunción: El Instituto; 2008 [Citado 8 de agosto 2014]. Disponible en: http://www.codas-thompson.com.py/dpto_medicina_nuclear.php
16. Núñez M. Fundamentos del SPECT [Internet]. Montevideo: Escuela Universitaria de Tecnología Médica; 2008 [citado 15 de jun de 2014]. Disponible en: http://www.alasbimn.net/comites/tecnologos/material/Fundamentos_SPECT.pdf
17. Dondi M, Mutt F. Protocolos Clínicos para estudios de SPECT. Proyecto XXXII – RLA/6/036, Control de Calidad y Optimización de Protocolos Clínicos de SPECT. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2008.
18. WHO. GLOBOCAN 2012 (IARC): Estimated incidence, mortality and prevalence worldwide in 2012 [Internet]. Lyon: WHO; 2012 [citado 10 de mayo de 2014]. Disponible en: http://globocan.iarc.fr/Pages/fact_sheets_cancer.aspx.