

Dr. Eduardo Rodríguez Alejandre*
 Dr. Emidio García Nicacio
 M. en C. Ana Cristina Molero Milo
 M en C. Luis Alberto Rangel Chávez

Integración del médico nuclear y del físico médico en los servicios de Medicina Nuclear

RESUMEN

Introducción. Las aplicaciones de las diferentes técnicas de la Medicina Nuclear (tomografía por emisión de positrones [PET] y tomografía por emisión de fotón único [SPECT]) en conjunto con los métodos de imagen de la Radiología han contribuido para brindar un diagnóstico más integral de muy diversas afecciones. Las imágenes radiológicas proporcionan información anatómica mientras que las de medicina nuclear evalúan la función y el metabolismo. Las nuevas alternativas diagnósticas y el desarrollo de tecnologías cada vez más sofisticadas requieren

la integración de un grupo de trabajo interdisciplinario. Es el caso de la Medicina Nuclear donde interaccionan médicos nucleares, radiólogos, físicos médicos, técnicos especializados y personal de enfermería, entre otros.

Objetivo. El objetivo del presente trabajo es describir las funciones y responsabilidades del médico nuclear y del físico médico en un departamento de Medicina Nuclear, así como especificar, desde el punto de vista académico, el perfil necesario de cada profesionista.

Conclusiones. El físico médico en medicina nuclear debe contar con una formación aca-

démica de posgrado y experiencia clínica en el área. Sus funciones están encaminadas a la mejora de la seguridad y la calidad de los aspectos físicos aplicados en la práctica médica. El cumplimiento de los estándares internacionales en el funcionamiento de los departamentos de Medicina Nuclear y en la formación de nuevos especialistas constituye la base para asegurar el éxito de los programas de garantía de calidad.

Palabras clave: PET, SPECT, CT, RM, radiofármacos, médico nuclear, físico médico.

Continúa en la pág. 147

*Departamento de Medicina Nuclear del Hospital General de México. Dr. Balmis 148, Col. Doctores, 06720, México D.F.
 Copias (copies): Dr. Eduardo Rodríguez Alejandre. E-mail: emidio52@yahoo.com.mx.

Introducción

En los últimos años los grandes avances tecnológicos han tenido un alto impacto en el ámbito científico y en especial en la medicina contemporánea, lo anterior se ha visto reflejado en los diferentes métodos de imagen de las distintas especialidades como la Radiología y la Medicina Nuclear.

Los primeros estudios de imagen acerca de la distribución de radionúclidos en el cuerpo humano se remontan a 1951 mediante el empleo del gammagrafo lineal. Siete años después Hal Anger inventó la cámara de centelleo con lo que se dio un gran paso en la calidad de las imágenes obtenidas, mejorando el diagnóstico gammagráfico.¹

Lo anterior sentó las bases para el desarrollo de los equipos de tomografía por emisión de positrones (PET) por Phelps² (Figura 1) y de la tomografía por emisión de fotón único (SPECT) por Kuhl³ (Figura 2) en la década de los 70 del siglo pasado, en lo que constituye el inicio de la era moderna de la Medicina Nuclear.

En la actualidad es posible el uso de equipos híbridos que combinan diferentes técnicas de imagen como son la tomografía computada (CT) con SPECT (SPECT/CT), la tomografía computada con PET (PET/CT) (Figura 3) y recientemente la resonancia magnética con PET (PET/RM), con lo que es factible obtener información anatómica y funcional en un solo estudio.

Otro aspecto de los avances de la Medicina Nuclear lo constituye la producción de radiofármacos, definidos por la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA) de los Estados Unidos como la combinación de un radionúclido con un ligando (fármaco) donde el radionú-

ABSTRACT

Introduction. The applications of different techniques of nuclear medicine (positron emission tomography [PET] and single photon emission computed tomography [SPECT]) combined with radiological imaging methods, have helped provide a more comprehensive diagnosis of highly diverse conditions. Radiological images provide anatomical information while nuclear medicine images evaluate function and metabolism. New diagnostic alternatives

and the development of increasingly sophisticated technologies require the formation of an interdisciplinary work group. Such is the case of nuclear medicine, where nuclear medicine physicians, radiologists, medical physicists, specialized technicians, and nursing personnel, among others, interact.

Purpose. The purpose of this project is to describe the functions and responsibilities of the nuclear medicine physician and the medical physicist in a nuclear medicine department, and to specify, from an academic standpoint, the necessary profile for professionals in each field.

Conclusions. The medical physicist in nuclear medicine must have postgraduate academic training and clinical experience in the field. Her functions are focused on improving the safety and quality of applied physics in medical practice. Observance of international standards in the operation of nuclear medicine departments and in training new specialists is a fundamental prerequisite to ensure the success of quality assurance programs.

Keywords: PET, SPECT, CT, RM, radiopharmaceuticals, nuclear medicine physician, medical physicist.



Figura No. 1. Equipo PET marca Siemens modelo ECAT EXACT HR+.

clido funciona como marcador, mientras que el fármaco actúa como trazador.⁴⁻⁶ Los radionúclidos utilizados en Medicina Nuclear son núcleos inestables: emisores de fotones y emisores de positrones; los primeros tradicionalmente se emplean en estudios planares y de SPECT, y los segundos en estudios PET.¹

Entre los radiofármacos de uso más frecuente se encuentran los siguientes:^{7,8}

- Tecnecio 99 metaestable (^{99m}Tc) en forma de pertecnetato. Permite la detección de tiroides sublingual, mucosa gástrica ectópica, alteraciones morfológicas de la glándula tiroides, entre otras (Figura 4).



Figura No. 2. Equipo SPECT de dos detectores marca Siemens modelo E. CAM.

- ^{99m}Tc–metil difosfonatos (^{99m}Tc-MDP). Empleado en la detección de metástasis óseas, procesos vasculares, tumorales e infecciosos del tejido óseo, entre otros.
- ^{99m}Tc ácido-dietilén–triamino–pentacético (^{99m}Tc-DTPA). Utilizado en la valoración de la perfusión



Figura No. 3. Equipo PET/CT marca Siemens modelo BIO-GRAPH.

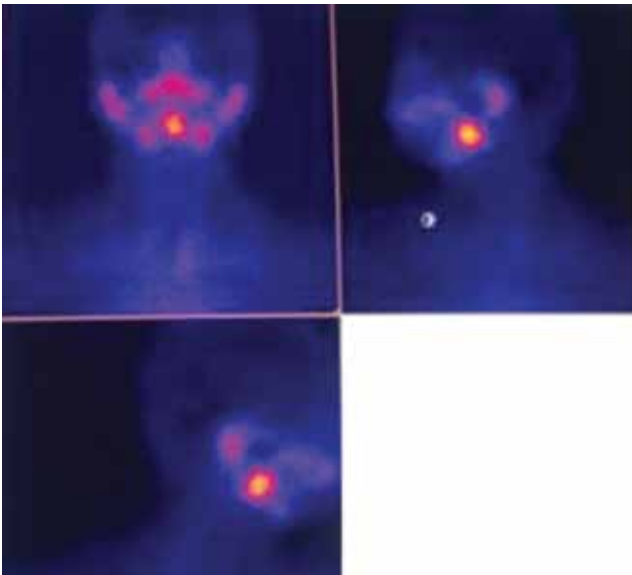


Figura No. 4. Gammagrafía tiroidea ^{99m}Tc donde se observa captación anormal a nivel sublingual (tiroides sublingual).

cerebral, tasa de filtrado glomerular, perfusión y función renal, entre otras (Figura 5).

- ^{99m}Tc -metoxiisobutilisonitrilo (^{99m}Tc -MIBI). Empleado en detección de adenomas paratiroides, en perfusión cardíaca y tumores cerebrales, entre otros.
- ^{99m}Tc -dímero de etilcisteína (^{99m}Tc -ECD). De uso común en la valoración de muerte cerebral.
- Cloruro de talio (^{201}Tl). Cuantifica la perfusión cardíaca en casos de isquemia o infarto miocárdico (Figuras 6 y 7).
- Yoduro de sodio marcado con yodo-131 (^{131}I). Es un radiofármaco útil en el tratamiento de trastornos de la función tiroidea (hipertiroidismo, cáncer tiroideo y sus metástasis).
- Fluorodeoxiglucosa marcada con flúor 18 (^{18}F -FDG). Es el radiofármaco más utilizado en PET y permite evaluar la actividad glucolítica (Figura 8).

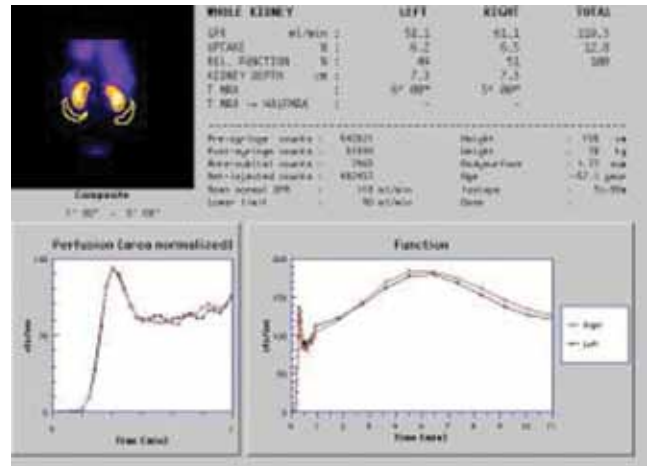


Figura No. 5. Gammagrama renal ^{99m}Tc - DTPA. Se observa captación y eliminación normal del radiotrazador por ambos riñones. Las gráficas muestran adecuada tasa de filtrado glomerular.

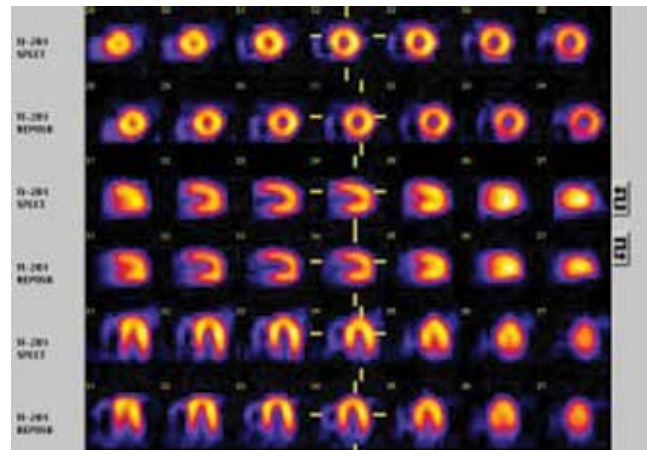


Figura No. 6. SPECT cardíaco ^{201}Tl con adecuada captación del radionúclido en segmentos miocárdicos de los cortes horizontales y verticales del ventrículo izquierdo. Perfusión miocárdica normal.

- Fluorotimidina marcada con ^{18}F (^{18}F -FLT). Evalúa la respuesta temprana a tratamientos oncológicos de manera más precisa que la FDG.
- Acetato marcado con carbono 11 (^{11}C -Acetato). De utilidad en el estudio del metabolismo β oxidativo del miocardio, cáncer de próstata y carcinoma hepatocelular.
- Amoníaco marcado con nitrógeno 13 (^{13}N -Amonia). Utilizado para estudios de perfusión miocárdica.

Las aplicaciones de las diferentes técnicas de Medicina Nuclear, en conjunto con los métodos de imagen de la Radiología (CT, RM, etcétera), han contribuido a un diagnóstico más integral de las diferentes afecciones debido a que las imágenes radiológicas proporcionan información anatómica mientras que las de medicina nuclear evalúan la función y el metabolismo.

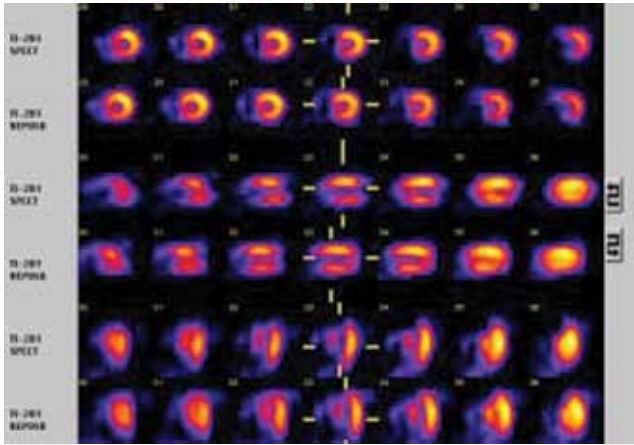


Figura No. 7. SPECT cardiaco ^{201}Tl con defecto de perfusión en segmento apical e hipoperfusión severa anteroseptal (infarto anteroseptal y apical).

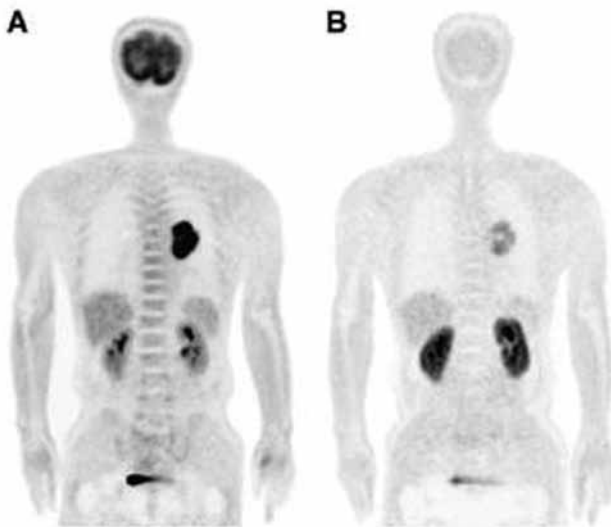


Figura No. 8. PET ^{18}F -FDG (A) y L - [3 - ^{18}F] α-metiltirosina (^{18}F FMT) (B). Ambas con captación anormal en pulmón izquierdo por tumor primario siendo mayor el índice de captación en (A) (J. Nuc. Med. 2009;50(11):1770-6).

Las nuevas alternativas diagnósticas y el desarrollo de tecnologías cada vez más sofisticadas requieren la integración de un grupo de trabajo interdisciplinario con la participación de profesionistas de distintas especialidades, como es el caso de la Medicina Nuclear donde interaccionan médicos nucleares, radiólogos, físicos médicos, técnicos especializados y personal de enfermería, entre otros.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es describir las funciones y responsabilidades del médico nuclear y del físico médico en un departamento de Medicina Nuclear, así como especificar desde el punto de vista académico el perfil de cada profesionista.

Funciones y responsabilidades del médico nuclear

De acuerdo con los estándares internacionales las funciones y responsabilidades del especialista en Medicina Nuclear son: coordinar las actividades del grupo de profesionistas que participan en la atención de los usuarios del servicio; determinar, valorar y autorizar los estudios solicitados por los diferentes especialistas de las ramas médicas tomando en consideración el riesgo/beneficio del procedimiento; determinar y organizar las pruebas y protocolos apropiados; participar en actividades docentes, de investigación y de divulgación de la especialidad; realizar el análisis, la interpretación y la correlación clínica de los estudios; llevar el seguimiento de los casos clínicos; garantizar la seguridad del grupo de trabajo y de los usuarios; capacitar al personal médico residente, al técnico y al de enfermería.⁵

Los requisitos mínimos necesarios para la adecuada formación del especialista en Medicina Nuclear son: licenciatura en Medicina; posgrado (especialidad) en Medicina Nuclear con duración mínima de dos años (de acuerdo con los estándares internacionales) y con reconocimiento universitario; curso de seguridad y protección radiológica y certificación del consejo de la especialidad.⁹ Actualmente en nuestro país se ha establecido un Plan Único de Especialidades Médicas en el que se establece una duración de la especialidad en Medicina Nuclear de cuatro años. Dentro de este programa se analizan aspectos generales de física de radiaciones ionizantes, seguridad y protección radiológica, radiofarmacia, anatomía y fisiopatología de los distintos sistemas del organismo dirigidas a las aplicaciones de las técnicas de la medicina nuclear, entre otras. Esto con la finalidad de establecer la correlación clínico-diagnóstica de las diferentes enfermedades.

Funciones y responsabilidades del físico médico

La Física Médica se define como *“la rama de la Física que comprende la aplicación de los conceptos, leyes, modelos, técnicas y métodos de la física para la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades”*.¹⁰ En la física médica se incluyen varias áreas entre las que figuran la radioterapia, el radiodiagnóstico, la medicina nuclear y la protección radiológica, aunque también se encuentran aplicaciones en la metrología de las radiaciones ionizantes, la resonancia magnética y el ultrasonido, entre otras.

A un profesionista dedicado a un campo de la Física Médica en el medio hospitalario se le llama físico médico clínico y “su responsabilidad primaria es optimizar el uso de la radiación para asegurar la calidad de un procedimiento de diagnóstico o de terapia”.¹¹

Las Normas Básicas Internacionales de Seguridad¹² establecen que para satisfacer “los requisitos sobre la formación de imágenes y la garantía de calidad en las aplicaciones diagnósticas de la radiación” se debe

contar con el asesoramiento de “un experto calificado en física de radiodiagnóstico o en física de medicina nuclear, según proceda”.

En el campo de la medicina nuclear el físico médico tiene las siguientes funciones:^{10,13}

1. Diseño de instalaciones. El físico médico debe tomar en cuenta las previsiones necesarias en la etapa de diseño para incorporar materiales adecuados para las instalaciones asegurando la protección con el fin de minimizar la exposición a la radiación,^{14,15} además debe calcular los blindajes de los muros (memoria analítica) de las instalaciones para radiología.
2. Especificaciones técnicas del equipo. El físico médico participa en la gestión del equipamiento mediante el análisis de las necesidades clínicas, en función de las condiciones de integración (conectividad, compatibilidad con otros instrumentos, escalamiento, etc.) y las especificaciones técnicas.¹³
3. Aceptación y puesta en servicio de equipos. Es necesario someter al equipo a verificaciones para asegurar que la calidad de la operación del mismo corresponde con las especificaciones técnicas del fabricante. El físico médico, en conjunto con el ingeniero de servicio, es el responsable de realizar las pruebas de aceptación para informar al proveedor de cualquier daño, deficiencia o falla antes de que expire la garantía. Ningún equipo debe someterse a trabajo clínico rutinario hasta no haber demostrado por medio de las pruebas de aceptación que su funcionamiento es óptimo. Las pruebas de aceptación sirven como referencia para llevar un control de calidad de operación del equipo mediante pruebas rutinarias.¹⁶
4. Supervisión técnica del mantenimiento de los equipos. Los principales procedimientos de mantenimiento a los que se someten los equipos por el personal de mantenimiento de la institución o del representante del fabricante y las pruebas rutinarias de control de calidad que realiza el físico médico deben ser complementarias. El físico médico supervisa el mantenimiento preventivo y/o correctivo de los equipos y es responsable de aceptarlos y recibirlos, así como de autorizar su uso clínico después de un mantenimiento. Después de las reparaciones el físico médico debe realizar pruebas de control de calidad^{17,18} que corroboren el buen funcionamiento de los equipos. Es importante que estas pruebas se lleven a cabo de acuerdo con los mismos protocolos y que sus resultados se comparen siempre con los datos de referencia, para lo que se debe llevar un registro.
5. Calibración de equipos y fuentes. Los equipos diseñados para detectar y medir campos de radiación ionizante proporcionan información útil para considerar las medidas de protección radiológica adecuadas con el fin de reducir al mínimo la exposición médica, del personal y del público. Estos equipos deben estar sujetos a un proceso de calibración periódica que garantice que las medidas de los niveles de radiación son confiables.
6. Medidas y análisis de datos. En la adquisición, procesamiento, visualización y almacenamiento de imágenes se debe tener una calidad técnica, la cual es responsabilidad del físico médico ya que debe de elaborar un control de calidad de dichos procesos.¹³
7. Tabulación de datos para uso clínico. En el área de dosimetría física, el físico médico participa en el diseño de protocolos de exploración (adquisición y procesamiento de imágenes); es también el responsable de garantizar que los datos de fuentes o procedimientos sean tabulados y registrados, de forma que sean útiles y entendibles por cualquier otra persona que realice los mismos procedimientos o que los evalúe. También elabora estadísticas y curvas de tendencia.¹³
8. Procedimientos relacionados con cálculos dosimétricos. El físico médico tiene a su cargo la responsabilidad de calcular, en las aplicaciones diagnósticas y terapéuticas, la dosis de actividad a administrar así como de elaborar los procedimientos de estimación de dosis absorbida en órganos.^{10,13}
9. Planificación de tratamientos. El físico médico colabora con el médico nuclear en el diseño de protocolos de exploraciones que involucran la adquisición y procesamiento de estudios con fines diagnósticos.^{10,13}
10. Programa de garantía de calidad. Los programas de garantía de calidad deben cubrir todos los aspectos de la práctica clínica para garantizar procedimientos libres de errores y artefactos. El físico médico es responsable de la ejecución de los aspectos físicos del programa de garantía de calidad como son el establecimiento de las pruebas para la aceptación y puesta en servicio de los equipos de medicina nuclear; el establecimiento y ejecución los controles de calidad periódicos de los equipos para garantizar que los parámetros de funcionamiento estén dentro de los intervalos aceptables con respecto a los valores de referencia; la colaboración en el análisis de la calidad técnica de las imágenes y de los datos numéricos; el control de calidad de la instrumentación en medicina nuclear y los aspectos técnicos y físicos de la dosimetría de la radiación, entre otras.^{10,13}

11. Docencia e investigación. El físico médico colabora en la formación continua de especialistas, personal técnico y enfermería en los rubros relacionados con la Física Médica y la protección radiológica. Además participa en la investigación clínica, evalúa nuevas tecnologías e investiga los requerimientos y procedimientos para su adopción.^{10,13}
12. Protección radiológica en la exposición médica, ocupacional y del público. El físico médico debe ejercer funciones relacionadas con el campo de la protección radiológica del paciente durante la terapia o diagnóstico con radiaciones ionizantes. Además realiza funciones relacionadas con la protección de los trabajadores y del público así como con la seguridad de las fuentes de radiación.

En el caso de que al físico médico se le asignen responsabilidades en materia de protección ocupacional y del público sus funciones incluyen:^{10,13} la supervisión de las dosis administradas; la optimización de dosis para exploraciones; la planificación de instalaciones; la evaluación de riesgos; la elaboración de procedimientos para la vigilancia de la radiación y contaminación; la vigilancia de la radiación y contaminación mediante el levantamiento de niveles; la vigilancia, control y gestión de radionúclidos; el mantenimiento del censo de las fuentes; la vigilancia y gestión de residuos sólidos, líquidos y gases; la dosimetría personal; la estimación de la contaminación interna; la formación en materia de protección radiológica; la gestión y la actualización de licencias de operación; la valoración del riesgo de familiares y la elaboración de instrucciones al paciente; las gestiones ante la autoridad reguladora (en el caso de México la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias) y el mantenimiento de los equipos propios de protección radiológica como son los detectores de radiación ionizante y los calibradores de dosis (Figuras 9 y 10).

En el caso de la seguridad de fuentes de radiación el físico médico establece las especificaciones en materia de seguridad para la compra de fuentes y equipos que emitan radiación ionizante; participa en el diseño de blindajes; elabora un programa de seguridad física de las fuentes incluyendo procedimientos operacionales, administrativos y de emergencia para la recepción, el almacenamiento, el control de movimientos, el inventario, la vigilancia y la devolución de las fuentes.

De acuerdo con las recomendaciones de organismos internacionales¹⁰ la formación académica y el entrenamiento requerido para un físico médico clínico deben contemplar tres etapas: una educación a nivel de un grado universitario con énfasis en contenidos de física y matemáticas; una especialización en las aplicaciones de la física en la medicina y un entrenamiento clínico para el desarrollo de habilidades y



Figura No. 9. Detector y monitor de radiación Geiger Müller tipo *pancake*.



Figura No. 10. Calibrador de dosis (activímetro) tipo pozo.

competencias en un campo específico de la Física Médica (e.g. radioterapia, radiodiagnóstico o medicina nuclear). Estas etapas se traducen en tres elementos académico/profesionales que involucran: la formación académica de grado universitario (licenciatura en Física o equivalente) para la primera etapa; la formación académica de posgrado con duración mínima de 1 o 2 años que incluya un programa formal de cursos, seminarios y trabajo clínico en física médica para la segunda etapa y, finalmente, para la tercera etapa, un entrenamiento clínico supervisado de 1 o 2 años para el desempeño independiente en alguna de las áreas de la Física Médica (por ejemplo Medicina Nuclear).¹⁰ En México existen dos programas universitarios de posgrado de formación en Física Médica ofrecidos por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), respectivamente. El programa ofrecido por la UNAM lleva por nombre Maestría en Ciencias (Física Médica) y forma parte del Posgrado en Ciencias Físicas. El objetivo de la Maestría en Física Médica

es formar al estudiante para que pueda ejercer “de manera creativa” las labores de un físico médico clínico y/o para que inicie una carrera de investigación en Física Médica.¹¹ Este plan incluye cursos de física de las radiaciones ionizantes, dosimetría, protección radiológica, física de la radioterapia y del diagnóstico por imágenes, física de la resonancia magnética, instrumentación médica, modelos matemáticos en biología y medicina, ciencias médicas, biología celular y radiobiología. La mayoría de los egresados trabaja en la clínica, principalmente en radioterapia aunque algunos ejercen en servicios de rayos X, medicina nuclear y resonancia magnética. El entrenamiento clínico de estos físicos médicos ha sido adquirido con la experiencia diaria debido a la carencia de programas formales de residencia clínica en el país.

Discusión

En nuestro país, aunque se reconoce la importancia del físico médico en los hospitales, especialmente para garantizar la calidad y la seguridad de la atención médica en los servicios de radioterapia y radiodiagnóstico, existe una carencia de estos profesionistas debido principalmente a la falta de reconocimiento legal de la profesión, al bajo estatus de los físicos médicos en los hospitales y la falta de conciencia de la importancia del trabajo interdisciplinario para el buen desempeño de la aplicación de nuevas tecnologías en la atención de pacientes. Sin embargo, en los últimos años ha habido una demanda creciente de físicos médicos en México debido, en primera instancia, a la exigencia de los organismos reguladores (en nuestro caso la Comisión

Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias) de la presencia de físicos médicos en los servicios de Radioterapia y Medicina Nuclear para otorgar las licencias de operación y en segundo término debido al aumento de la complejidad de la tecnología que se incorpora a los hospitales. Esto ha propiciado el trabajo interdisciplinario entre las distintas especialidades logrando la integración del físico médico con el médico nuclear. Así se fortalecen los programas de garantía de calidad en los aspectos referentes al empleo, almacenamiento, preparación, distribución y administración de los radiofármacos, y de protección contra las radiaciones de los pacientes, del personal y del público en general.

Otro aspecto importante es la función del médico nuclear quien, además de interactuar con el físico médico, colabora con otros grupos de especialistas con la finalidad de integrar y analizar en forma conjunta los procedimientos que se realizan con los obtenidos por otros métodos y de esta manera lograr el estudio integral del paciente.

Conclusiones

El físico médico en Medicina Nuclear debe contar con una formación académica de posgrado y experiencia clínica en el área. Sus funciones están encaminadas a la mejora de la seguridad y la calidad de los aspectos físicos aplicados a la práctica médica.

El cumplimiento de los estándares internacionales en materia de formación de los profesionistas y funcionamiento de los Departamentos de Medicina Nuclear constituyen la base para asegurar el éxito de los programas de garantía de la calidad.

Referencias

- Cherry SR, Sorenson JA, Phelps ME. *Physics in Nuclear Medicine*. 3rd Ed. Saunders, 2003; 523.
- Phelps ME, Hoffman EJ, Mullani NA, Ter Pogossian MM: Applications of Annihilation Coincidence Detection of Transaxial Reconstruction Tomography. *J Nucl Med* 1975;16:210 – 215.
- Kuhl DE, Edwards RQ, Ricci AR, et al: The Mark IV System for Radionuclide Computer Tomography of the Brain. *Radiology* 1976;121:405-413.
- Carro I, González P: *Medicina Nuclear: Aplicaciones Clínicas*. 1.^a Ed. Barcelona, Masson: 2003;13-18.
- International Atomic Energy Agency. *Nuclear Medicine Resources Manual*. IAEA, Viena 2006;25-66.
- Díaz GC, De Haro FJ. *Técnicas de Exploración en Medicina Nuclear*. Barcelona, Masson: 2005;3:38–52.
- Henkin RE. *Nuclear Medicine*. 2.^a Ed, Chicago USA:Elsevier Science Health Sciences Division; 2007;1724.
- Ávila RM, Alva SH. Radiofármacos para PET, Una Nueva Perspectiva de la Medicina Nuclear Molecular en México. *El Residente* 2010;5:103–110.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. Auditorías de la Gestión de la Calidad en Prácticas de Medicina Nuclear. OIEA. Viena 2009;2:10-11.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. *El Físico Médico: Criterios y Recomendaciones para su Formación Académica, Entrenamiento Clínico y Certificación en América Latina*. OIEA. Viena 2010;77.
- Brandan ME. Educación y Entrenamiento Clínico de Físicos Médicos en América Latina. *Revista Brasileira de Física Médica*. 2009;3:19–23.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. *Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección contra la Radiación Ionizante y para la Seguridad de las Fuentes de Radiación*. OIEA, Viena, 1997;2:49–61.
- Sociedad Española de Física Médica. *Informe Sobre Medios Recomendados Humanos y Materiales de las Unidades de Radiofísica para Medicina Nuclear y Radiodiagnóstico*.- Grupo de trabajo de SEFM (2001). http://www.sefm.es/documentos_documentos.php
- Norma Oficial Mexicana NOM-027-NUCL-1996. Especificaciones para el Diseño de las Instalaciones Radiactivas Tipo II Clases A, B, y C. *Diario Oficial de la Federación* 1997;16:17–20.
- National Council on Radiation Protection and Measurements. *Structural Shielding design and evaluation for medical use of X Ray and Gamma Rays of energies up to 10 MeV*. Bethesda: NCRP Report 1976;49:126.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. *Control de Calidad de los Instrumentos de Medicina Nuclear*. IAEA-TECDOC-602/S. OIEA, Viena, 1996;1:10–13.
- National Council on Radiation Protection and Measurements. *Quality Assurance for Diagnostic Imaging Equipment*. NCRP Report 99 1988;5:32-35.
- International Atomic Energy Agency. *Quality Assurance for PET and PET/CT Systems*. Human Health Series No. 1. IAEA, Viena 2009;5:40-98.