

IAEA HUMAN HEALTH REPORTS No. 1
INFORMES SOBRE SALUD HUMANA DEL OIEA N° 1



**El físico médico:
Criterios y recomendaciones
para su formación académica,
entrenamiento clínico
y certificación en América Latina**

Patrocinado por OIEA y OPS



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

PUBLICACIONES DE LA COLECCIÓN DE SALUD HUMANA DEL OIEA

El mandato del programa de salud humana del OIEA emana del artículo II de su Estatuto, según el cual el “Organismo procurará acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero”. El objetivo principal del programa de salud humana es potenciar la capacidad de los Estados Miembros del OIEA para abordar cuestiones relacionadas con la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de problemas de salud mediante el desarrollo y la aplicación de técnicas nucleares en un marco de garantía de calidad.

En las publicaciones de la Colección de Salud Humana del OIEA se proporciona información en las esferas de: la medicina radiológica, comprendidas la radiología de diagnóstico, la medicina nuclear con fines de diagnóstico y terapéuticos, y la radioterapia; la dosimetría y la radiofísica médica; y las técnicas de isótopos estables y otras aplicaciones nucleares en la nutrición. Las publicaciones tienen muchos lectores y están destinadas a los profesionales sanitarios habilitados, investigadores y otros profesionales. La Secretaría del OIEA recibe la ayuda de expertos internacionales para redactar y examinar estas publicaciones. Algunas de las publicaciones de esta colección también pueden ser aprobadas o copatrocinadas por organizaciones internacionales y sociedades profesionales activas en las esferas pertinentes.

En esta colección existen dos categorías de publicaciones:

COLECCIÓN DE SALUD HUMANA DEL OIEA

En las publicaciones de esta categoría se presentan análisis o se proporciona información de carácter consultivo, como directrices, códigos y normas de práctica, y manuales de garantía de calidad. En esta colección también se publican monografías y material didáctico de alto nivel, como textos de posgrado.

INFORMES SOBRE SALUD HUMANA DEL OIEA

Los informes sobre salud humana complementan la información publicada en la Colección de Salud Humana del OIEA en las esferas de la medicina radiológica, la dosimetría y la radiofísica médica, y la nutrición. Estas publicaciones incluyen informes de reuniones técnicas, los resultados de proyectos coordinados de investigación del OIEA, informes provisionales sobre proyectos del OIEA, y material didáctico reunido para cursos de capacitación del OIEA en temas relacionados con la salud humana. En algunos casos, estos informes pueden proporcionar material de apoyo relacionado con publicaciones editadas en la Colección de Salud Humana del OIEA.

Todas estas publicaciones pueden descargarse a título gratuito del sitio web del OIEA:

<http://www.iaea.org/Publications/index.html>

Para más información, sírvase ponerse en contacto con:

Dependencia de Mercadotecnia y Venta
Organismo Internacional de Energía Atómica
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Viena (Austria)

Se invita a los lectores a dar sus impresiones sobre estas publicaciones.

Informes sobre salud humana del OIEA N° 1

**El físico médico:
Criterios y recomendaciones
para su formación académica,
entrenamiento clínico
y certificación en América Latina**

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA, 2010

DERECHOS DE AUTOR

Todas las publicaciones científicas y técnicas del OIEA están protegidas en virtud de la Convención Universal sobre Derecho de Autor aprobada en 1952 (Berna) y revisada en 1972 (París). Desde entonces, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (Ginebra) ha ampliado la cobertura de los derechos de autor que ahora incluyen la propiedad intelectual de obras electrónicas y virtuales. Para la utilización de textos completos, o parte de ellos, que figuren en publicaciones del OIEA, impresas o en formato electrónico, deberá obtenerse la correspondiente autorización, y por lo general dicha utilización estará sujeta a un acuerdo de pago de regalías. Se aceptan propuestas relativas a la reproducción y traducción sin fines comerciales, que se examinarán individualmente. Las solicitudes de información deben dirigirse a la Sección Editorial del OIEA:

Dependencia de Mercadotecnia y Venta
Sección Editorial
Organismo Internacional de Energía Atómica
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Viena (Austria)
fax: +43 1 2600 29302
tel.: +43 1 2600 22417
correo-e: sales.publications@iaea.org
<http://www.iaea.org/books>

Para más información sobre esta publicación,
sírvese ponerse en contacto con:

Sección de Dosimetría y Radiofísica Médica
Organismo Internacional de Energía Atómica
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Viena (Austria)
correo-e: Official.Mail@iaea.org

EL FÍSICO MÉDICO: CRITERIOS Y RECOMENDACIONES PARA SU FORMACIÓN
ACADÉMICA, ENTRENAMIENTO CLÍNICO Y CERTIFICACIÓN EN AMÉRICA LATINA

OIEA, VIENA, 2010

STI/PUB/1424

ISBN 978-92-0-311209-3

ISSN 2074-7667

© OIEA, 2010

Impreso por el OIEA en Austria

Enero de 2010

PREFACIO

Durante el último decenio, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha promovido un considerable número de actividades de cooperación técnica y del programa ordinario vinculadas al establecimiento de programas educativos en radiofísica médica en América Latina. A pesar de estos esfuerzos, la cantidad de físicos médicos en las diversas áreas de la medicina radiológica (radioterapia, medicina nuclear, radiodiagnóstico) sigue siendo insuficiente. Adicionalmente, muchos de los físicos médicos actualmente vinculados a los hospitales poseen un entrenamiento inadecuado y sus condiciones profesionales (situación, salario, etc.) quedan muy lejos de las de sus colegas en países industrializados. Esto trae como resultado que la profesión de física médica clínica no sea suficientemente atractiva en América Latina. Las previsiones a mediano plazo indican que la evolución continua hacia una atención médica basada cada vez más en las altas tecnologías hará que se requieran aún más físicos médicos bien entrenados, lo que empeoraría la situación actual.

Ante la problemática expuesta, y considerando el marcado interés de los Estados Miembros del OIEA por encontrar una solución de consenso y una cooperación efectiva que permitan resolver este problema, se inició en 2005 el proyecto ARCAL LXXXIII, Fortalecimiento del desempeño de los físicos médicos en América Latina. Como parte de sus actividades se integró un grupo de expertos con la tarea de evaluar la problemática de la física médica en la región y elaborar recomendaciones, contenidas en este documento, que permitieran armonizar la formación y el reconocimiento profesional de los físicos médicos.

Para la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la física médica constituye un área de especial atención. Durante muchos años ha venido promoviendo el uso seguro y eficaz de las radiaciones en la salud y trabaja en el asesoramiento técnico a los ministerios de salud de la región de América Latina y el Caribe en este campo. Teniendo, pues, en cuenta el común interés del OIEA y de la OPS por abordar esta problemática, la histórica y actual colaboración entre ambas organizaciones, y la necesidad de que los físicos médicos cuenten con un reconocimiento formal por parte de los ministerios de salud, el OIEA invitó a la OPS a colaborar en este proyecto regional.

El OIEA y la OPS desean expresar su agradecimiento a todos los autores de este documento, que figuran en la lista al final de la publicación. Se agradece en especial la contribución editorial final de M.E. Brandan (México), apoyada por M.E. Castellanos (Colombia) y R. Alfonso (Cuba), y los valiosos comentarios de M. Brunetto (Argentina). Los Secretarios Científicos responsables de la elaboración del presente documento fueron P. Andreo (OIEA) y P. Jiménez (OPS).

NOTA EDITORIAL

El presente informe fue redactado en español y no ha sido editado por el personal de los servicios editoriales del OIEA.

Aunque se ha puesto gran cuidado en mantener la exactitud de la información contenida en esta publicación, ni el OIEA ni sus Estados Miembros asumen responsabilidad alguna por las consecuencias que puedan derivarse de su uso.

El uso de determinadas denominaciones de países o territorios no implica juicio alguno por parte de la entidad editora, el OIEA, sobre la situación jurídica de esos países o territorios, sus autoridades e instituciones o el trazado de sus fronteras.

La mención de nombres de determinadas empresas o productos (se indiquen o no como registrados) no implica ninguna intención de violar derechos de propiedad ni debe interpretarse como una aprobación o recomendación por parte del OIEA.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	FÍSICA MÉDICA	2
2.1.	El papel de la física en la medicina.....	2
2.2.	La física médica como profesión	3
2.3.	Definición del físico médico.....	5
3.	FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DEL FÍSICO MÉDICO.....	5
3.1.	El físico médico cualificado clínicamente en radioterapia	6
3.2.	El físico médico cualificado clínicamente en diagnóstico por imágenes.....	8
3.2.1.	Medicina nuclear	9
3.2.2.	Radiodiagnóstico e intervenciones guiadas por rayos X	10
3.2.3.	Otras áreas	11
3.3.	Aspectos específicos de la física médica en protección y seguridad radiológica	13
4.	FORMACIÓN ACADÉMICA Y CLÍNICA DEL FÍSICO MÉDICO	19
4.1.	Generalidades	19
4.2.	Modalidades de formación de físicos médicos en América Latina	19
4.2.1.	Definiciones.....	19
4.2.2.	Modalidades de formación en física médica existentes en la región.....	20
4.3.	Modalidades recomendadas.....	25
4.4.	Contenidos de programas de formación académica.....	29
4.4.1.	Contenidos generales.....	29
4.4.2.	Contenidos específicos de física de la radioterapia	30
4.4.3.	Contenidos específicos de física del diagnóstico por imágenes	32
4.5.	Contenidos de programas de entrenamiento clínico	33
4.5.1.	Programa de entrenamiento clínico en física de la radioterapia	33
4.5.2.	Programa de entrenamiento clínico en física del diagnóstico por imágenes	34
5.	REGULACIÓN DE LA PROFESIÓN	35
5.1.	Certificación profesional individual	35
5.2.	Licenciamiento individual	36
5.3.	Una propuesta de solución para profesionales en ejercicio	36
6.	REQUERIMIENTOS DE RECURSOS HUMANOS EN FÍSICA MÉDICA.....	37
6.1.	Herramientas existentes para la estimación de los recursos humanos necesarios en física médica	38
6.1.1.	Radioterapia.....	38
6.1.2.	Medicina nuclear	41
6.1.3.	Radiodiagnóstico	43
6.1.4.	Protección y seguridad radiológica.....	44
6.2.	Recomendaciones para América Latina.....	44
6.2.1.	Radioterapia.....	44
6.2.2.	Diagnóstico por imágenes	45

APÉNDICE A-1: CONTENIDOS DE UN PROGRAMA DE FORMACIÓN ACADÉMICA DE POSTGRADO EN FÍSICA MÉDICA EN EL ÁREA DE FÍSICA DE LA RADIOTERAPIA ..	47
APÉNDICE A-2: CONTENIDOS DE UN PROGRAMA DE FORMACIÓN ACADÉMICA DE POSTGRADO EN FÍSICA MÉDICA EN EL ÁREA DE FÍSICA DEL DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES	54
APÉNDICE B-1: ENTRENAMIENTO CLÍNICO DEL FÍSICO MÉDICO EN TERAPIA CON RADIACIONES: HABILIDADES.....	61
APÉNDICE B-2: ENTRENAMIENTO CLÍNICO DEL FÍSICO MÉDICO EN DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES: HABILIDADES	65
APÉNDICE C-1: HERRAMIENTA PARA LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS EN FÍSICA MÉDICA EN SERVICIOS DE RADIOTERAPIA (EJEMPLO)	69
APÉNDICE C-2: HERRAMIENTA PARA LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS EN FÍSICA MÉDICA EN SERVICIOS DE DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES (EJEMPLO)	70
REFERENCIAS	73
ANEXO: EL DOSIMETRISTA.....	75
COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN.....	77

1. INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones de la física en la medicina han aumentado progresivamente, en variedad y cantidad, desde principios del siglo XX. Nuevas modalidades de tratamiento (radioterapia con fotones, electrones, protones e iones ligeros, radioterapia conformada y con modulación de intensidad, braquiterapia de alta tasa de dosis y radiocirugía estereotáxica, entre otras) y de diagnóstico (tomografía por emisión de positrones, tomografía por emisión de fotón único, radiología digital, resonancia magnética y ultrasonido, entre otras) han requerido que el número de físicos en los hospitales de todo el mundo se incremente, y que su formación académica y entrenamiento clínico se adecuen a las exigencias de las tecnologías avanzadas.

La física médica proporciona los fundamentos físicos a múltiples técnicas terapéuticas y la base científica para la comprensión, puesta en marcha y desarrollo de las tecnologías que están revolucionando el diagnóstico médico, y establece los criterios para la correcta utilización de los agentes físicos empleados en medicina.

Los físicos médicos son profesionales con formación académica de postgrado y entrenamiento clínico, que forman parte del grupo multidisciplinario profesional responsable del diagnóstico y tratamiento de pacientes, garantizando la calidad de los aspectos técnicos que intervienen en los procesos, la efectividad y la seguridad de los mismos reduciendo así la probabilidad de accidentes. Los físicos médicos intervienen en el diseño e implementación de nuevas técnicas e instrumentos, el análisis de señales e imágenes, el control de equipos y procedimientos de medición. El físico médico tiene competencias y responsabilidades únicas en relación con los equipos, con las técnicas y métodos usados en la rutina clínica para la introducción, adaptación y optimización de nuevos procedimientos, para calibración, garantía y control de calidad y seguridad radiológica.

Los físicos médicos también participan en la docencia hospitalaria para médicos, físicos médicos, tecnólogos, enfermeras y otros miembros del personal, en investigación y desarrollo, y en aspectos gerenciales del hospital. Así, estos profesionales especializados cumplen en el medio hospitalario funciones asistenciales, docentes, de investigación y desarrollo, y administrativas.

Aunque se reconoce la importancia del aporte del físico médico en los hospitales, especialmente para garantizar la calidad y la seguridad de la atención médica en radioterapia y en diagnóstico por imágenes, en América Latina y el Caribe se constata una considerable escasez de estos profesionales. Esto se debe — en parte — a que ésta es una especialidad profesional relativamente nueva, a la falta de reconocimiento legal de la profesión por parte de los Ministerios de Salud o de Trabajo de la mayoría de los países, al todavía bajo estatus de los físicos médicos en los hospitales, y a la falta de reconocimiento, en muchos centros de nuestra región, de la importancia del trabajo multidisciplinario para el buen desempeño de la aplicación de las tecnologías modernas en la atención de pacientes. En particular, en muchos países el físico médico no está incluido dentro de la clasificación de cargos de los Ministerios de Salud o de Trabajo, lo que conlleva una incongruencia entre el cargo que desempeña y las funciones que ejerce. En general, estos ministerios han jugado un papel menos activo en la aceptación de la profesión que el de las autoridades reguladoras nucleares, algunas de las cuales exigen un físico médico en los servicios de radioterapia e instalaciones de tomografía por emisión de positrones (PET) por razones de seguridad radiológica.

En la mayoría de los países de la región, la profesión de físico médico se considera poco atractiva debido, entre otras causas, a la falta de promoción de la especialidad a distintos niveles, a la ausencia de marcos legales que regulen la profesión, a un inadecuado estatus

profesional y salarial, a la necesidad de más grupos de física médica con prestigio local e internacional que atraigan a los estudiantes de física, y al poco reconocimiento por parte de la comunidad de físicos. Adicionalmente, en el gremio médico todavía no se conoce el papel de los físicos en las diferentes áreas de su práctica profesional y no existe claridad sobre las funciones y responsabilidades que deben asignarse a los físicos en el trabajo clínico.

Sin embargo, en los últimos años se ha apreciado un incremento de programas universitarios de formación académica que pretenden satisfacer la demanda creciente de físicos médicos en la región. Esta necesidad reciente se debe, principalmente, al aumento y complejidad de la tecnología que se incorpora a los hospitales, y en parte a las exigencias de las autoridades reguladoras para otorgar licencias de operación a los servicios de radioterapia y de medicina nuclear. Algunos de estos programas educativos se desarrollan no como estudios de postgrado, sino a nivel de grado universitario (licenciatura o ingeniería) o de pregrado, como se denomina en algunos países.

Los objetivos de este documento son: establecer un estándar para la educación de físicos médicos que proporcione una base sustentable para diagnósticos de calidad y tratamientos seguros; promover la mejora del estatus profesional de los físicos médicos en América Latina y el Caribe incluyendo el reconocimiento legal y social de la profesión; motivar el aumento del número de físicos médicos cualificados clínicamente; proveer un documento técnico que ofrezca orientaciones y recomendaciones a las autoridades sanitarias, reguladoras y universitarias sobre la formación, entrenamiento y certificación de los físicos médicos; y establecer criterios para la identificación de un conjunto de centros hospitalarios idóneos en los cuales los físicos médicos puedan realizar el entrenamiento práctico indispensable como complemento a la formación académica impartida en un programa de postgrado en física médica.

2. FÍSICA MÉDICA

Física médica es 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. La física médica en la actualidad desempeña una importante función en la asistencia médica, la investigación biológica y médica, y la optimización de ciertas actividades sanitarias.

La física médica incluye las áreas de física de la radioterapia, física del radiodiagnóstico, física de la medicina nuclear y física de la protección radiológica. El radiodiagnóstico y la medicina nuclear se agrupan a menudo en lo que se denomina diagnóstico por imágenes, en cuyo caso los aspectos terapéuticos de la medicina nuclear se asocian a la radioterapia, o de manera más general, a la terapia con radiaciones. Otras áreas de interés dentro de la física médica son la metrología de radiaciones ionizantes, la resonancia magnética, las aplicaciones de láser, ultrasonidos, y otras técnicas que involucren conceptos físicos aplicados a medicina.

2.1. El papel de la física en la medicina

Quizás se pueda considerar a Leonardo da Vinci como el primer físico médico, por cuanto se interesó particular y profundamente en la mecánica del movimiento humano. Posteriores desarrollos de la física contribuyeron a avances reconocidos en biología, entre los cuales destaca el uso del microscopio, desarrollado por el holandés van Leeuwenhoek durante el siglo XVII. Los trabajos en electromagnetismo del siglo XIX permitieron a los físicos hacer contribuciones al diagnóstico y tratamiento médico. El físico francés D'Arsonval introdujo el uso terapéutico de corrientes eléctricas de altas frecuencias y señaló el camino hacia el

desarrollo de instrumentos para mediciones eléctricas, y desde entonces, voltímetros de registro sensible han hecho posible la evolución de la electrocardiografía y electroencefalografía.

El descubrimiento de los rayos X y de la radiactividad por los físicos Roentgen en 1895 y Becquerel en 1896 fue rápidamente seguido por la aplicación de las radiaciones ionizantes al diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Fue un radiólogo francés, Victor Despeigne, quien en Lyon en 1896 irradió con rayos X el primer paciente con fines terapéuticos. El uso terapéutico de las fuentes radiactivas es posterior, pero ya en 1901 los esposos Curie concientes de la “acción fisiológica de los rayos del radio” prestaron fuentes de radio a dermatólogos para el tratamiento de lesiones cancerosas.

Las primeras experiencias de irradiación de pacientes no fueron muy prometedoras debido a resultados poco homogéneos, a un efecto terapéutico pobre y a la ocurrencia frecuente de accidentes. Esas experiencias crearon la necesidad de un nuevo campo de desarrollo, el de la dosimetría, que involucró a médicos, físicos, biólogos e ingenieros en la búsqueda de métodos de cuantificación y medición de la radiación; como resultado de estos esfuerzos se logró el establecimiento de la relación dosis–efecto para las aplicaciones médicas de la radiación ionizante.

La actividad que introdujo a los físicos a la esfera de los hospitales fue, precisamente, la dosimetría. El desarrollo posterior de fuentes intensas de radiación para administrar teleterapia (generadores de Van de Graaff, betatrones, unidades de cobalto-60, aceleradores lineales y ciclotrones), la aplicación de radionúclidos artificiales y rayos X en el diagnóstico médico y la invención de técnicas y dispositivos de imaginología (cámaras gamma, tomografía por emisión de positrones, intensificadores de imagen, tomografía computarizada y radiología digital) y, más recientemente, el uso de la resonancia magnética en imágenes y espectroscopía médicas, han expandido las áreas de especialización de los físicos médicos. Cabe resaltar el aporte de los físicos en el desarrollo de los aceleradores lineales, las cámaras gamma y la tomografía computarizada, y que el Premio Nobel de Fisiología o Medicina ha sido concedido dos veces a físicos médicos (en 1979, a A.M. Cormack — junto a G. Hounsfield — por el desarrollo de la tomografía computarizada, y en 2003, a Sir Peter Mansfield — junto a P. Lauterbur — por avances que permitieron obtener imágenes del cuerpo humano usando resonancia magnética nuclear).

Así, el crecimiento y la contribución de la física médica han sido una consecuencia natural de la evolución moderna de las ciencias físicas y la tecnología.

2.2. La física médica como profesión

Dependiendo de la actividad que realizan, se puede hablar de dos tipos de profesionales en física médica:

- **Físicos médicos clínicos**, quienes trabajan en instituciones hospitalarias o médicas, donde desempeñan labores asistenciales, docentes y de investigación, para lo cual han recibido un entrenamiento clínico supervisado en física médica.
- **Físicos médicos no-clínicos**, quienes desempeñan labores docentes y de investigación académica en universidades, laboratorios de investigación, etc.

El presente documento está centrado en el primer grupo, **físicos médicos clínicos**, aunque muchas de sus recomendaciones son también aplicables al segundo grupo, como las referidas a los programas de formación académica.

A través de los años, distintas organizaciones nacionales e internacionales han dado diferentes denominaciones a los profesionales no médicos vinculados a los hospitales para desempeñar funciones relacionadas con la aplicación de la física en la medicina: físico de hospital en el Reino Unido y Francia hasta hace pocos años (radiofísico es la denominación actual en los hospitales franceses), físico clínico en los Países Bajos, especialista en física de la radioterapia y especialista en física de la medicina nuclear en Argentina, físico médico en Estados Unidos, especialista en radiofísica hospitalaria en España, y físico médico en Brasil.

Si bien el campo en el cual existe un mayor número de profesionales especializados no-médicos trabajando en los hospitales es en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades por medio de radiaciones ionizantes (de ahí el nombre de radiofísico), cada vez se generaliza más el uso del término **físico médico**, que engloba todas las áreas en que la física encuentra una posible aplicación directa en medicina.

También los organismos internacionales han adoptado diferentes denominaciones para identificar al profesional que cuenta, no sólo con la formación teórica, sino también con el entrenamiento hospitalario y la experiencia que lo capacitan para un desempeño adecuado de sus funciones, en relación particularmente, con la seguridad radiológica de los pacientes.

Las Normas Básicas Internacionales de Seguridad [1], en adelante las NBS, establecen que los centros hospitalarios deberán contar con la participación de **expertos cualificados** en disciplinas afines a la física médica (llamadas radiofísica o radiofarmacia en las NBS), para el establecimiento de programas de garantía de calidad en las aplicaciones médicas de las radiaciones ionizantes. Particularmente, las NBS establecen que en los usos terapéuticos de la radiación (incluyendo teleterapia y braquiterapia), los requisitos de calibración, dosimetría y garantía de calidad “deben ser conducidos por o bajo la supervisión de un **experto cualificado en física radioterápica**” y, análogamente, para los usos diagnósticos de la radiación “los requerimientos en imágenes y garantía de calidad, deben ser llevados a cabo con la asesoría de un **experto cualificado**” en **física del radiodiagnóstico o física de la medicina nuclear**, según sea apropiado.

La Federación Europea de Organizaciones de Física Médica (EFOMP) [2] establece dos categorías para calificar al físico médico; el primero es el **físico médico cualificado**, profesional con un grado universitario en ciencias físicas, ingeniería o similares, que realiza de 2 a 4 años adicionales de formación académica y entrenamiento clínico en física médica, hasta alcanzar la “competencia para actuar de forma independiente” en su especialidad. Se define además al **experto en física médica**, que es aquel físico médico cualificado que adquiere experiencia clínica avanzada y entrenamiento especializado de, al menos, 2 años adicionales, generalmente en una subespecialidad de la física médica. Esta experiencia y entrenamiento deben lograrse dentro de un programa formal de educación profesional continuada.

De acuerdo con la Comunidad Europea de Energía Atómica (EURATOM) [3], un experto **en física médica** es un experto en física de radiaciones o tecnología de las radiaciones aplicada a la exposición (médica) cuyo entrenamiento y competencia son reconocidos por las autoridades pertinentes, quien actúa o asesora en la dosimetría clínica, el desarrollo y uso de técnicas y equipos complejos, la garantía de calidad, la protección radiológica y temas afines.

La Organización Internacional de Física Médica (IOMP) define al físico médico como una persona cualificada con un grado universitario o equivalente (a nivel de una Maestría) en ciencias físicas o ingeniería, con educación y entrenamiento especializados en los conceptos y

técnicas de la aplicación de la física en medicina, y competente para practicar de manera independiente en una o más de las subespecialidades de la física médica.

Estas definiciones establecen, sin lugar a duda, que el **físico médico clínico** tiene un papel profesional que no puede ser confundido con el de los ingenieros de mantenimiento, o el de los tecnólogos o dosimetristas, u otros profesionales con un grado universitario medio.

A pesar de encontrar a nivel mundial diferentes denominaciones para el profesional especializado en física médica vinculado a los hospitales, existen rasgos comunes en sus definiciones:

- Corresponde a un estatus profesional de grado universitario superior con formación a nivel de postgrado y experiencia clínica.
- Su desempeño está ligado a la mejora de la calidad y la seguridad de los aspectos físicos aplicados en la práctica médica.

2.3. Definición del físico médico

En este documento, un **físico médico cualificado clínicamente** (denominado también **especialista en física médica**) es un individuo competente para ejercer profesionalmente y de manera independiente, en una o más de las especialidades de la física médica. Podemos entonces encontrar físicos médicos cualificados clínicamente en radioterapia (especialista en física de la radioterapia) o físicos médicos cualificados clínicamente en diagnóstico por imágenes (especialista en física del diagnóstico por imágenes). Trabajar de manera independiente significa trabajar sin la supervisión directa de un físico médico de más experiencia. Dependiendo de las modalidades de formación explicadas más adelante, obtener esta cualificación puede tomar como mínimo 3 años de entrenamiento académico y clínico posteriores al grado universitario. Un **experto en física médica** es un físico médico cualificado clínicamente que cuenta, además, con 6 años de práctica clínica en alguna unidad hospitalaria, generalmente en un área de la física médica, dando lugar al experto en física de la radioterapia o al experto en física del diagnóstico por imágenes.

En cualquiera de los anteriores casos, es altamente recomendable la certificación de las competencias por un panel o comité de expertos debidamente acreditado al efecto, con vistas a obtener el licenciamiento individual para el ejercicio de la profesión (véase las secciones 5.1 y 5.2).

Este documento analiza las vías recomendadas de formación académica y entrenamiento clínico para la cualificación (especialización) y certificación de los físicos médicos.

3. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DEL FÍSICO MÉDICO

El físico médico cualificado clínicamente es miembro del equipo multidisciplinario a cargo del diagnóstico y tratamiento de los pacientes con radiaciones. El físico médico contribuye a asegurar un alto estándar de calidad de servicio en el medio hospitalario. La responsabilidad esencial en la práctica clínica del físico médico consiste en optimizar el uso de las radiaciones para producir un procedimiento diagnóstico o terapéutico de calidad.

Como profesional en física, el físico médico posee capacidades para identificar un problema y formular estrategias para su solución, interpretar información nueva o no estándar, realizar valoraciones sensatas ante situaciones inusuales, transmitir opiniones científicas de forma

clara y precisa, reconocer situaciones erróneas y tomar medidas correctivas apropiadas, y establecer sus limitaciones en conocimientos y habilidades.

El físico médico es responsable de los aspectos físicos del programa de garantía de calidad, tanto en los procedimientos diagnósticos como terapéuticos, y apoya al responsable de la instalación en los aspectos de la protección radiológica de pacientes, trabajadores y público, incluyendo el diseño de blindajes e instalaciones. El físico médico realiza investigación y desarrollo de nuevas técnicas, equipos y métodos, e imparte educación y entrenamiento de física aplicada y seguridad radiológica a médicos, enfermeras, técnicos, estudiantes y demás personal.

En la mayoría de los hospitales, el físico médico es responsable de asegurar que las instalaciones de diagnóstico por imágenes y tratamiento con radiaciones cumplan las normas y reglamentaciones nacionales, y sigan las recomendaciones de organismos internacionales competentes. Cumple funciones de apoyo en la definición de las especificaciones para la compra de equipos, y asesoría técnico-administrativa a la dirección de los centros hospitalarios.

En este capítulo se describirán las funciones y responsabilidades específicas del físico en radioterapia y diagnóstico por imágenes, campos en los cuales la necesidad y requerimientos legales exigen la vinculación del físico médico. Sin embargo, cabe aclarar que en centros hospitalarios de alto nivel tecnológico, los físicos se desempeñan también en otras áreas de la medicina (terapia fotodinámica, uso de láser, uso terapéutico del ultrasonido y procesamiento de señales, entre otras).

Las principales funciones y responsabilidades del físico médico en el medio hospitalario se pueden dividir en las siguientes áreas de responsabilidad:

- Especificaciones técnicas de equipos y diseño de instalaciones;
- Aceptación y puesta en servicio de equipos;
- Supervisión técnica del mantenimiento;
- Garantía de calidad;
- Dosimetría física;
- Dosimetría clínica;
- Docencia e investigación;
- Protección radiológica en la exposición médica;
- Protección radiológica ocupacional y del público.

En las siguientes secciones se establecen las funciones y responsabilidades del físico médico en radioterapia y diagnóstico por imágenes [4–6, 21–23]. En el cuadro 1 se presenta un sumario de esas funciones y responsabilidades.

Los aspectos de protección radiológica relativos a la práctica médica con radiaciones ionizantes, se discuten dentro de cada una de las áreas de especialización de la física médica, mientras que aquellos relacionados con la protección radiológica de los trabajadores y el público serán tratados separadamente.

3.1. El físico médico cualificado clínicamente en radioterapia

El desempeño del físico médico en radioterapia es la clave para proveer un servicio de calidad, por lo cual su formación científica y práctica debe ser de alto nivel.

El físico médico en radioterapia establece y desarrolla los procedimientos de dosimetría, de planificación de tratamiento, de aseguramiento de la calidad de los procesos y equipamiento, de administración del tratamiento y de la seguridad y protección radiológica. Sus conocimientos están dirigidos también al desarrollo y optimización de nuevas técnicas de tratamiento y desempeñan un papel importante en la adopción, implementación, desarrollo, uso seguro y optimización de técnicas y tecnologías avanzadas.

La radioterapia comprende la aplicación terapéutica de:

- Haces de rayos X, rayos gamma, electrones, protones, iones ligeros, etc. usados en teleterapia;
- Rayos gamma, beta, etc. provenientes de fuentes selladas, usados en braquiterapia;
- Rayos gamma, beta, alfa, etc. provenientes de fuentes no selladas¹.

Las funciones principales del físico médico en radioterapia se detallan a continuación [4, 5] (sumario en el cuadro 1):

- (a) Especificaciones técnicas de equipos y diseño de instalaciones. El físico médico colabora en la definición de las especificaciones de compra de unidades de tratamiento, simuladores, sistemas de imágenes y sistemas de planificación de tratamiento (análisis de necesidades en función de la actividad clínica, condiciones de integración: compatibilidad, conectividad); participa en el diseño de las instalaciones, en especial realiza o verifica el cálculo de los blindajes, garantizando que todos los requisitos de seguridad y funcionalidad se cumplan.
- (b) Aceptación y puesta en servicio de equipos. El físico médico es responsable de la aceptación de los equipos después de su instalación, así como de la puesta en servicio de los mismos. El físico médico certifica que las unidades de terapia, simulación, imágenes y planificación de tratamiento funcionan de acuerdo con las especificaciones técnicas de compra y que el equipo está en condiciones de ser usado clínicamente.
- (c) Supervisión técnica del mantenimiento de los equipos. El físico médico supervisa el mantenimiento de los equipos, y es responsable de su aceptación, autoriza su uso clínico después de un mantenimiento, es responsable de garantizar que ninguna alteración causada por el mantenimiento o reparación afecte el funcionamiento o la calibración de las unidades de tratamiento, de simulación y de planificación, y de registrar los resultados de sus evaluaciones.
- (d) Calibración de equipo de radioterapia. El físico médico es responsable de la calibración de todas las unidades de tratamiento y la verificación de la actividad de las fuentes radiactivas de acuerdo con los protocolos adoptados.
- (e) Adquisición y análisis de datos. El físico médico es el responsable de la adquisición de todos los datos necesarios para el uso clínico de las unidades de tratamiento (pruebas de puesta en servicio). Esto incluye todas las energías, modalidades y fuentes radiactivas necesarias para la administración de tratamientos de radioterapia externa y braquiterapia. El físico médico debe evaluar la calidad de los datos y su aplicación adecuada para los diferentes tipos de tratamiento.
- (f) Tabulación de datos para uso clínico. El físico médico es el responsable de garantizar que los datos de los haces de radiación y de las fuentes radiactivas en la institución han sido introducidos en el sistema de planificación de tratamiento, para su puesta en servicio; tabula y registra los datos de forma tal que sean útiles y entendibles por cualquier otra persona que realice cálculos dosimétricos o que los evalúe.

¹ En algunos hospitales estos procedimientos se incluyen en los servicios de medicina nuclear.

- (g) Establecimiento de procedimientos de cálculo dosimétricos. El físico médico es el responsable del establecimiento de los procedimientos de cálculo de dosis usados en la clínica y de la verificación de su exactitud.
- (h) Planificación de tratamientos. El físico médico lleva a cabo o supervisa los cálculos y las mediciones necesarias para determinar dosis absorbidas o distribuciones de dosis en pacientes. Éstos pueden ser cálculos manuales o computarizados y/o medidas directas de radiación, como por ejemplo, medidas en maniquí o in-vivo. Provee al oncólogo radioterapeuta la evaluación y propuestas de optimización de la planificación de tratamientos.
- (i) Garantía de calidad. El físico médico es el responsable principal de la elaboración y ejecución de los aspectos físicos del programa de garantía de calidad. Éste se asegurará que las políticas y procedimientos contienen los elementos apropiados de buena práctica de planificación y administración del tratamiento, de protección radiológica del paciente, de control de calidad de equipos y procedimientos, y cumplimiento de la reglamentación. El físico médico especifica los estándares básicos que serán verificados al momento de aceptar un equipo y ponerlo en servicio para uso clínico; adapta o desarrolla los procedimientos de aceptación y puesta en servicio, y establece y realiza controles de calidad periódicos que verifican que los parámetros técnicos de funcionamiento de los equipos permanecen dentro de márgenes aceptables en relación con los valores de referencia.
- (j) Docencia e investigación. El físico médico provee educación y entrenamiento en física médica a médicos, tecnólogos de radioterapia, asistentes en física, enfermeras, etc. así como también a estudiantes y personal de mantenimiento técnico. Él apoya la investigación clínica en sus aspectos técnicos y, en centros de alta complejidad tecnológica, evalúa nuevas tecnologías e investiga los procedimientos requeridos para su adopción.
- (k) Protección radiológica en la exposición médica:
 - Investigación de exposiciones médicas accidentales. El físico médico participa en la investigación de incidentes relacionados con todo tratamiento administrado por equivocación a un paciente o tejido no indicado, o con una dosis o fraccionamiento que difiera considerablemente de la prescrita por el médico, que pudieren provocar efectos secundarios no esperados. Asimismo, el físico médico es responsable de investigar todo incidente relacionado a fallos de equipos, accidente, error u otro suceso insólito que pudiere ser causa de que los pacientes sufran una exposición apreciablemente diferente a la prevista.
 - Registros. El físico médico elabora los documentos y mantiene los registros de sus áreas de trabajo, requeridos por las autoridades reguladoras competentes.

Actualmente en algunos centros de radioterapia existen dosimetristas, que trabajan bajo la dirección y supervisión de un físico médico cualificado. En el anexo se describe su perfil y funciones específicas en radioterapia.

3.2. El físico médico cualificado clínicamente en diagnóstico por imágenes

Los avances en imaginología médica hacen posible la adquisición de información muy precisa sobre la anatomía y funcionamiento del organismo del paciente. Las imágenes del paciente pueden ser adquiridas por medio de radiografía convencional o digital, fluoroscopia, tomografía computarizada, ultrasonido, medicina nuclear, o resonancia magnética. Actualmente, el físico médico forma parte del equipo de trabajo de los servicios de diagnóstico por imágenes de la más alta complejidad tecnológica.

El físico médico apoya al médico y los tecnólogos en la interpretación y optimización de los aspectos técnicos de los diferentes métodos de adquisición de imágenes, y participa en las actividades de investigación y educación; se ocupa especialmente de la seguridad radiológica del paciente.

Aunque actualmente hay una tendencia a unificar los servicios de diagnóstico por imágenes, incluyendo radiaciones ionizantes (rayos X y radionúclidos) y no ionizantes (ultrasonido y resonancia magnética), la mayoría de los servicios clínicos se encuentran divididos en dos: medicina nuclear y radiodiagnóstico. Adicionalmente en muchos hospitales, los equipos de imaginología por resonancia magnética y ultrasonido se encuentran en los servicios de radiodiagnóstico. En consecuencia, para efectos de la definición de las funciones y responsabilidades de los físicos médicos, las áreas de medicina nuclear y radiodiagnóstico se tratan separadamente en este documento.

3.2.1. Medicina nuclear

Este campo comprende las aplicaciones diagnósticas de los radionúclidos. Las funciones principales del físico médico en medicina nuclear se detallan a continuación (sumario en el cuadro 1):

- (a) Especificaciones técnicas de equipo y diseño de instalaciones. El físico médico participa en la elaboración de las especificaciones técnicas de compra de equipos de adquisición de imágenes y de detección de radiación (análisis de necesidades en función de la actividad clínica, condiciones de integración: compatibilidad, conectividad); participa en el diseño de las instalaciones, en especial realiza o verifica el cálculo de los blindajes, y se asegura que todos los requisitos de seguridad se cumplan.
- (b) Aceptación y puesta en servicio de equipos. El físico médico realiza la aceptación y puesta en servicio de equipos de adquisición de imágenes y de detección de radiación, y certifica que ellos funcionan de acuerdo con las especificaciones técnicas de compra; realiza el informe del proceso de aceptación, registrando los valores obtenidos de parámetros relevantes, que sirven de referencia para los controles de calidad posteriores.
- (c) Supervisión técnica del mantenimiento de los equipos. El físico médico supervisa el mantenimiento de los equipos y es responsable de recibirlos y autorizar su uso clínico después de un proceso de mantenimiento; realiza después de los mantenimientos preventivos o correctivos las pruebas de control de calidad que revistan especial complejidad; es responsable de garantizar que ninguna alteración causada por el mantenimiento o reparación del equipo afecte el funcionamiento o la calibración de los sistemas de adquisición de imágenes y de detección de radiación.
- (d) Calibración de equipos y fuentes. El físico médico es responsable de la caracterización de la radiación y de los procedimientos para la determinación de la actividad de los radiofármacos, antes de ser aplicados en procedimientos clínicos.
- (e) Medidas y análisis de datos. El físico médico evalúa los procedimientos de adquisición de imágenes y detección de la radiación antes de su aplicación rutinaria en clínica; calcula la actividad a administrar y realiza la dosimetría de pacientes en procedimientos especiales (no rutinarios).
- (f) Tabulación de datos para uso clínico. El físico médico participa en el diseño de protocolos de exploración (adquisición y procesamiento); es el responsable de garantizar que los datos necesarios para los procedimientos sean tabulados y registrados, de forma tal que sean útiles y entendibles para cualquier otra persona que realice los mismos procedimientos o que los evalúe.

- (g) Procedimientos de cálculo dosimétricos. El físico médico es el responsable del establecimiento de los procedimientos de cálculo de dosis en pacientes y de la verificación de su exactitud; elabora procedimientos de estimación de dosis en órganos y de determinación de la fecha y hora de alta del paciente.
- (h) Planificación de tratamientos. El físico médico lleva a cabo o supervisa los cálculos para determinar la actividad a administrar en procedimientos terapéuticos y realiza la dosimetría de pacientes en casos especiales.
- (i) Garantía de calidad. El físico médico es el responsable principal de la elaboración y ejecución de los aspectos físicos del programa de garantía de calidad. Éste se asegurará que las políticas y procedimientos contienen los elementos apropiados de buena práctica, de manejo del material radiactivo, de protección radiológica del paciente, de control de calidad y cumplimiento de las reglamentaciones. El físico médico especifica los estándares básicos que serán verificados al momento de aceptar un equipo y ponerlo en servicio para uso clínico; adapta o desarrolla los procedimientos de aceptación y puesta en servicio, y establece y realiza controles de calidad periódicos para verificar que los parámetros técnicos de funcionamiento de los equipos permanecen dentro de márgenes aceptables en relación con los valores de referencia; colabora en el análisis de la calidad técnica de imágenes y datos numéricos, y en el análisis de la calidad técnica de las exploraciones; participa en la confección, optimización y desarrollo de un programa de control de calidad del tratamiento de imágenes y datos, en el control de calidad de la instrumentación de medicina nuclear, y en los aspectos técnicos y físicos de la dosimetría de la radiación.
- (j) Docencia e investigación. El físico médico provee educación y entrenamiento en física médica a médicos, tecnólogos, enfermeras, etc. así como también a estudiantes y personal de mantenimiento técnico; apoya la investigación clínica en sus aspectos técnicos y, en centros de alta complejidad tecnológica, evalúa nuevas tecnologías e investiga los procedimientos requeridos para su adopción.
- (k) Protección radiológica en la exposición médica:
 - Investigación de exposiciones médicas accidentales. El físico médico participa en la investigación de los incidentes relacionados con todo radiofármaco administrado por equivocación a un paciente, o utilizado incorrectamente, o con una actividad que difiera considerablemente de la prescrita por el médico, que pudieren provocar efectos secundarios no esperados, y las exposiciones que resulten de actividades que repetida y sustancialmente difieran las establecidas en los niveles de referencia. Asimismo, el físico médico es responsable de investigar todo incidente relacionado a fallos de equipos, accidente, error u otro suceso insólito que pudiere ser causa de que un paciente sufra una exposición apreciablemente diferente a la prevista.
 - Registros. El físico médico elabora los documentos y mantiene los registros de sus áreas de trabajo, requeridos por las autoridades reguladoras competentes.

3.2.2. Radiodiagnóstico e intervenciones guiadas por rayos X

Este campo comprende las aplicaciones diagnósticas de los rayos X. Las funciones principales del físico médico en este campo se detallan a continuación [4, 6] (véase el sumario en el cuadro 1):

- (a) Especificaciones técnicas de equipos y diseño de instalaciones. El físico médico participa en la elaboración de las especificaciones técnicas de compra de equipos (análisis de necesidades en función de la actividad clínica, condiciones de integración: compatibilidad, conectividad); participa en el diseño de las instalaciones, en especial

realiza o verifica el cálculo de los blindajes, y se asegura que todos los requisitos de seguridad se cumplen.

- (b) Aceptación y puesta en servicio de equipos. El físico médico es responsable de supervisar la instalación de nuevos equipos y de las pruebas de aceptación de los mismos; certifica que ellos funcionan de acuerdo con las especificaciones de compra; realiza el informe del proceso de aceptación, registrando los valores obtenidos de parámetros relevantes, que sirven de referencia para los controles de calidad posteriores.
- (c) Supervisión técnica del mantenimiento de los equipos. El físico médico supervisa el mantenimiento de los equipos y es responsable de recibirlos y autorizar su uso clínico después de un proceso de mantenimiento; realiza las pruebas de control de calidad establecidas después de los mantenimientos preventivos o correctivos; es responsable de garantizar que ninguna alteración causada por el mantenimiento o reparación del equipo afecte el funcionamiento y por tanto la protección del paciente.
- (d) Dosimetría clínica. El físico médico es responsable de la verificación periódica de la dosis administrada a los pacientes en cada equipo, de acuerdo con las indicaciones y métodos recomendados por la reglamentación y organismos competentes en la materia. Es responsable también de la estimación de dosis en órganos a pacientes cuando sea preciso (pacientes embarazadas, por ejemplo) y la evaluación de riesgos.
- (e) Garantía de calidad. El físico médico es el responsable principal de la elaboración y ejecución de los aspectos físicos del programa de garantía de calidad. El físico médico es responsable de la verificación, de la aceptación y establecimiento del estado de referencia inicial de los equipos y de la elaboración, desarrollo y seguimiento de los programas de control de calidad, tanto de los equipos de radiodiagnóstico, como de los sistemas auxiliares de visualización, procesamiento y almacenamiento de imágenes, como son: procesadoras, monitores de visualización, cámaras multiformato, negatoscopios, cuartos oscuros, chasis, etc.
- (f) Docencia e investigación. El físico médico participa en los programas de formación y entrenamiento continuo del personal en temas relacionados con la protección y seguridad radiológica y el control de calidad de procedimientos y equipos; apoya la investigación clínica en sus aspectos técnicos y, en centros de alta complejidad tecnológica, evalúa nuevas tecnologías e investiga los procedimientos requeridos para su adopción.
- (g) Protección radiológica en la exposición médica:
 - Investigación de exposiciones médicas accidentales. El físico médico participa en la investigación de los incidentes relacionados con cualquier exposición a un paciente equivocado, o sustancialmente mayor que la prevista, y las exposiciones que resulten en dosis que repetida y sustancialmente difieran de las establecidas en los niveles de referencia. Asimismo, el físico médico es responsable de investigar todo incidente relacionado con fallos de equipos, accidente, error u otro suceso insólito que pudiere ser causa de que un paciente sufra una exposición apreciablemente diferente a la prevista.
 - Registros. El físico médico elabora los documentos y mantiene los registros de sus áreas de trabajo, requeridos por las autoridades reguladoras competentes.

3.2.3. Otras áreas

En esta sección se incluyen las funciones de los físicos médicos en el diagnóstico por imágenes por medio de resonancia magnética y ultrasonido.

Imágenes por resonancia magnética (RM)

- (a) Especificaciones técnicas de equipos y diseño de instalaciones. El físico médico ayuda a definir las especificaciones técnicas para adquisición de equipos nuevos, y las condiciones de integración y compatibilidad con otros equipos o unidades, colabora en el diseño de las instalaciones y garantiza el cumplimiento de los requisitos de seguridad.
- (b) Aceptación y puesta en servicio de equipos. El físico médico es el responsable de supervisar la instalación de nuevos equipos y de realizar las pruebas de aceptación; evalúa los sistemas y sus algoritmos, y establece los procedimientos para la aplicación de técnicas especiales (como espectroscopía, RM funcional, etc.), antes de la implementación clínica de los mismos.
- (c) Supervisión técnica del mantenimiento de los equipos. El físico médico es el responsable de la supervisión técnica del mantenimiento de los equipos y de la verificación de su funcionamiento; registra los resultados de esas pruebas y autoriza el uso clínico de los equipos cuando los resultados obtenidos corresponden a los de referencia, obtenidos durante la aceptación.
- (d) Garantía de calidad. El físico médico es responsable de la elaboración e implementación y seguimiento de los aspectos físicos del programa de garantía de calidad y de los procedimientos de control de calidad, tanto de los equipos de RM como de los sistemas auxiliares de posicionamiento y visualización, así como de los sistemas de almacenamiento de imágenes.
- (e) Aspectos de seguridad. El físico médico es responsable de evaluar los riesgos biofísicos del equipo de RM, de colaborar en la definición de las medidas de protección contra incendios y de otros procedimientos de emergencia, aplica los procedimientos de seguridad para diferentes intensidades de campo magnético, identifica las áreas controladas y propone los controles administrativos requeridos de acuerdo con los patrones de seguridad para RM.
- (f) Docencia y entrenamiento. El físico médico es responsable de la formación y entrenamiento continuo del personal.

Imágenes por ultrasonido (US)

- (a) Especificaciones técnicas de los equipos. El físico médico ayuda a definir las especificaciones técnicas para la adquisición de equipos nuevos, las condiciones de integración y compatibilidad con otras unidades y el cumplimiento de los requisitos de seguridad y normas de los organismos reguladores.
- (b) Aceptación y puesta en servicio de equipos. El físico médico es el responsable de supervisar la instalación de nuevos equipos, de realizar las pruebas de aceptación, de la evaluación de los sistemas y, sus algoritmos, y de la obtención de los parámetros de referencia relevantes para futuros controles.
- (c) Supervisión técnica del mantenimiento de los equipos. El físico médico es el responsable de la supervisión técnica del mantenimiento de los equipos y de realizar las pruebas de control de calidad establecidas en el programa de garantía de calidad, así como de autorizar su puesta en servicio después de un mantenimiento preventivo o correctivo; documenta cualquier cambio causado por el mantenimiento.
- (d) Garantía de calidad. El físico médico es responsable de la elaboración e implementación y seguimiento de los aspectos físicos del programa de garantía de calidad y de los procedimientos de control de calidad, tanto de los sistemas de US, como de los sistemas auxiliares de visualización, procesamiento y almacenamiento de imágenes.
- (e) Aspectos de seguridad. El físico médico es responsable del análisis y prevención de los bioefectos que pueden estar asociados al uso del US, de establecer los patrones de

seguridad para la aplicación del ultrasonido en procedimientos diagnósticos y terapéuticos, y de prevenir los accidentes eléctricos asociados al uso del US.

- (f) Docencia y entrenamiento. El físico médico es responsable de la formación y entrenamiento continuo del personal.

3.3. Aspectos específicos de la física médica en protección y seguridad radiológica

Las Normas Básicas Internacionales de Seguridad asignan al físico médico responsabilidades específicas en las exposiciones médicas [1]. Además de los aspectos de protección radiológica del paciente intrínsecamente relacionados con la terapia y diagnóstico con radiaciones ionizantes, considerados en las secciones anteriores, el físico médico puede ejercer funciones relacionadas con la protección de los trabajadores y del público, y la seguridad de las fuentes de radiación.

Protección radiológica en la exposición médica

Las responsabilidades específicas sobre la protección radiológica en la exposición médica, asignadas por las Normas Básicas Internacionales de Seguridad al físico médico, se describen en las secciones 3.1 y 3.2, y se refieren explícitamente a la calibración de fuentes y haces de radiación, la dosimetría, y los aspectos físicos de la garantía de calidad.

Protección radiológica ocupacional y del público

En los casos en los que se asignen al físico médico responsabilidades en materia de protección ocupacional y del público, sus funciones incluyen:

- (a) Clasificar las zonas de trabajo, en controladas y vigiladas.
- (b) Proporcionar a los trabajadores ocupacionalmente expuestos la adecuada información sobre los efectos de la radiación y, en particular, a las mujeres que entran en zonas controladas, información de los efectos sobre el feto.
- (c) Elaborar normas y procedimientos para garantizar la protección radiológica de los trabajadores y supervisar que se cumplan dichas normas y procedimientos, incluyendo la formación en los métodos de protección.
- (d) Analizar la necesidad de equipo de protección personal, tal como delantales de blindaje, protectores de tiroides, gafas y otros dispositivos, así como supervisar que se utilizan correctamente.
- (e) Efectuar la vigilancia radiológica individual y estimación de las dosis recibidas.
- (f) Efectuar la vigilancia radiológica de los lugares y las zonas de trabajo.
- (g) Mantener los registros, en particular las dosis estimadas por los tiempos que especifiquen los reglamentos nacionales.
- (h) Colaborar en el establecimiento de programas y mecanismos para la vigilancia de la salud de los trabajadores involucrados en actividades que incluyan exposiciones ocupacionales, y en particular velar porque estos programas se basen en los principios de salud ocupacional, e incluyan la evaluación inicial de que el trabajador está en condiciones de hacerse cargo de las funciones que se le asignan.
- (i) Investigar de exposiciones anómalas.
- (j) Establecer y supervisar control de acceso de miembros del público.

Seguridad de las fuentes de radiación

- (k) Establecer especificaciones que afecten a la seguridad para las compras de las fuentes y los equipos que emitan radiación o la utilicen.

- (l) Participar en el diseño de los blindajes.
- (m) Efectuar la aceptación, puesta en servicio y verificaciones de seguridad en la operación, mantenimiento.
- (n) Elaborar un programa de seguridad física de las fuentes, incluyendo procedimientos para la recepción, el almacenamiento seguro, el control de todos sus movimientos en el hospital, el inventario periódico de las fuentes de radiación, vigilancia de las mismas tras el cese de su utilización hasta su transferencia a un usuario autorizado o devolución a su origen. Supervisar el cumplimiento de dichos procedimientos.

Emergencias radiológicas

- (o) Efectuar estudio de seguridad e identificar de posibles accidentes o pérdida de control de las fuentes y elaborar procedimientos de actuación en caso de que ocurran, y ejercicios para su correcta ejecución.

Docencia y entrenamiento

- (p) Formación del personal en materia de seguridad y protección radiológica, instruyendo y proporcionando capacitación continuada del personal en temas como magnitudes de radioprotección, definición de zonas controlada y supervisada, establecimiento y promoción de la cultura de la seguridad y concepto de defensa en profundidad.

Las responsabilidades principales del físico médico en este campo se resumen en el cuadro 1.

CUADRO 1. RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS

Área de responsabilidad	Radioterapia	Diagnóstico por imágenes	Protección radiológica ocupacional y del público
<p>Especificaciones técnicas de equipos y diseño de instalaciones</p>	<p>Participa en el diseño de las instalaciones y se asegura que todos los requisitos de seguridad se cumplan.</p> <p>Participa en la definición de las especificaciones técnicas para la compra de unidades de tratamiento, simuladores, sistemas de imágenes y sistemas de planificación de tratamiento, así como de sistemas de dosimetría y control de calidad (condiciones de integración, compatibilidad, conectividad).</p>	<p>Participa en el diseño de las instalaciones y se asegura que todos los requisitos de seguridad se cumplan.</p> <p>Participa en la definición de las especificaciones técnicas para la compra de equipos de adquisición y manejo de imágenes (condiciones de integración y compatibilidad, conectividad).</p>	<p>Elabora o revisa los planos de diseño de toda nueva instalación en relación con la protección radiológica del personal y el público.</p> <p>Hace seguimiento de la construcción de las instalaciones y evalúa mediante medidas, la eficiencia de los blindajes diseñados.</p> <p>Define las especificaciones técnicas de los equipos de monitoreo ambiental y de contaminación, de acuerdo con el tipo de fuentes y las prácticas en la instalación.</p>
<p>Aceptación y puesta en servicio de equipos</p>	<p>Responsable de la aceptación de los equipos después de su instalación; certifica que las unidades de terapia, simulación, imágenes y planificación de tratamiento funcionan de acuerdo con las especificaciones técnicas de compra.</p> <p>Responsable de la puesta en servicio de los equipos emisores y detectores de radiación después de su aceptación inicial o con posterioridad a una reparación.</p>	<p>Responsable de la aceptación de nuevos equipos de adquisición y manejo de imágenes, así como detectores de radiación y sistemas de control de calidad, realizando las pruebas junto con los representantes del fabricante y certifica que los equipos funcionan de acuerdo con las especificaciones de compra.</p> <p>Responsable de la puesta en servicio de equipos de adquisición de imágenes y de detección de radiación, después de su aceptación inicial; establece los valores de parámetros relevantes obtenidos durante la aceptación, con objeto de que sirvan de referencia para los controles de calidad posteriores.</p>	<p>Responsable de la aceptación de los equipos de detección para radioprotección, verifica sus calibraciones y su rango de sensibilidad de acuerdo a sus especificaciones y destino.</p>

CUADRO 1. RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS (cont.)

Área de responsabilidad	Radioterapia	Diagnóstico por imágenes	Protección radiológica ocupacional y del público
Supervisión técnica del mantenimiento	Supervisa el mantenimiento técnico de los equipos, es responsable de recibirlos y autorizar su uso clínico después de un mantenimiento, de garantizar y documentar que cualquier alteración causada por mantenimiento o reparación no afecte el funcionamiento o la calibración de las unidades de tratamiento.	Supervisa el mantenimiento de los equipos, es responsable de la aceptación después de una reparación, antes de la utilización clínica del equipo, y de documentar cualquier cambio causado por el mantenimiento. Después de reparaciones o intervenciones, realiza pruebas de control de calidad que revistan especial complejidad en los equipos que lo requieran.	Responsable de la aceptación de los equipos de detección para radioprotección, después de una reparación o calibración. Realiza control periódico de esos equipos para verificar su correcto funcionamiento.
Garantía de calidad	Responsable de la elaboración y ejecución de los aspectos físicos del programa de garantía de calidad. Asegura que las políticas y procedimientos contienen los elementos apropiados de buena práctica de aplicación del tratamiento, de protección radiológica del paciente, control de calidad y cumplimiento de las reglamentaciones.	Responsable de elaboración y desarrollo del programa de garantía de calidad de la instalación. Asegura que las políticas y procedimientos contienen los elementos apropiados de buena práctica de aplicación del procedimiento, de protección radiológica del paciente, control de calidad y cumplimiento de las reglamentaciones.	Clasifica las zonas de trabajo. Responsable de la gestión de la dosimetría personal de los trabajadores. Vigila las zonas de trabajo, controla los procedimientos de trabajo y evalúa los riesgos radiológicos para el personal y el público.
	Integra el Comité de Garantía de Calidad de la instalación y cumple un papel de liderazgo en su funcionamiento y actualización de guías y manuales de procedimientos.	Integra el Comité de Garantía de Calidad de la instalación y cumple un papel de liderazgo en su funcionamiento y actualización de guías y manuales de procedimientos.	Mantiene los registros establecidos en las normas internas. Asesora a la administración hospitalaria y al personal en materias de protección radiológica.
	Establece valores que servirán de referencia al aceptar un equipo y ponerlo en servicio clínico.	Responsable de la elaboración, desarrollo y seguimiento de programas de control de calidad de los sistemas de visualización, procesamiento y almacenamiento de imágenes, detectores de radiación y sistemas de control de calidad.	Vigila y supervisa la gestión de fuentes radiactivas y desechos radiactivos, de acuerdo con la reglamentación nacional.
	Adapta o desarrolla procedimientos de aceptación y puesta en servicio, y establece y realiza controles de calidad periódicos que verifican que los parámetros técnicos de funcionamiento de los equipos permanecen dentro de márgenes aceptables en relación con valores de referencia.	Responsable del análisis de la calidad técnica de imágenes, de los datos numéricos y de las exploraciones.	Elabora normas y procedimientos. Representa a las directivas de la entidad ante las autoridades nacionales que controlan el uso de la radiación ionizante.

CUADRO 1. RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS (cont.)

Área de responsabilidad	Radioterapia	Diagnóstico por imágenes	Protección radiológica ocupacional y del público
Garantía de calidad (continuación)			Prepara las solicitudes de autorización que la entidad requiera para su funcionamiento, de acuerdo con la reglamentación nacional.
Dosimetría física	<p>Responsable de la calibración de todas las unidades de tratamiento y verificación de la actividad de las fuentes radiactivas, de acuerdo con los protocolos adoptados.</p> <p>Responsable de la determinación de los datos necesarios para el uso clínico de las unidades de tratamiento. Esto incluye todas las energías, modalidades y fuentes radiactivas necesarias para la planificación de tratamientos de radioterapia externa y braquiterapia.</p> <p>Evalúa la calidad de los datos y su aplicación adecuada para los diferentes tipos de tratamiento, y los registra de manera clara y precisa, de forma que puedan ser utilizados por cualquier otro físico que realice o evalúe los mismos procedimientos.</p> <p>Responsable de garantizar que los datos de haces y fuentes han sido introducidos en el sistema de planificación de tratamiento, sea éste manual o computarizado. Tabula y registra los datos, de modo útil y entendible para cualquier otra persona que realice cálculos dosimétricos o que los evalúe.</p>	<p>Responsable de la caracterización de la radiación emitida y de la determinación de la actividad de los radiofármacos, antes de ser aplicados en procedimientos clínicos.</p> <p>Evalúa los procedimientos de adquisición de imágenes y detección de la radiación antes de su aplicación clínica rutinaria.</p> <p>Participa en el diseño de protocolos de exploración (adquisición y procesamiento de imágenes); es el responsable de garantizar que los datos de fuentes o procedimientos sean tabulados y registrados, de forma tal que sean útiles y entendibles por cualquier otra persona que realice los mismos procedimientos o que los evalúe.</p> <p>Responsable de la verificación periódica de la dosis administrada a los pacientes con cada equipo, de acuerdo con las indicaciones y métodos recomendados por la reglamentación y organismos competentes en la materia.</p>	<p>Controla los instrumentos de monitoreo ambiental, gestiona su calibración y realiza su control de calidad.</p>

CUADRO 1. RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS (cont.)

Área de responsabilidad	Radioterapia	Diagnóstico por imágenes	Protección radiológica ocupacional y del público
<p>Dosimetría clínica</p>	<p>Responsable del establecimiento de los procedimientos de cálculo de dosis usados en la clínica y de la verificación de su exactitud. Lleva a cabo, o supervisa, los cálculos y mediciones necesarias para determinar dosis absorbidas o distribuciones de dosis en pacientes. Provee al radio-oncólogo evaluación y propuestas de optimización de la planificación de tratamientos.</p>	<p>Responsable del establecimiento de los procedimientos de cálculo de dosis usados en la clínica y de la verificación de su exactitud. Elabora procedimientos de estimación de dosis en órganos y de determinación de la fecha y hora de alta del paciente.</p>	
<p>Docencia e investigación</p>	<p>Participa en los programas de formación de médicos especialistas en radioterapia, de físicos médicos, tecnólogos, enfermeras y personal de mantenimiento en temas de física médica y de protección radiológica asociada a la práctica de la radioterapia. Participa en los programas de formación continua del personal en el área de su competencia.</p> <p>Apoya la investigación clínica en sus aspectos técnicos y, en centros de alta complejidad tecnológica, evalúa nuevas tecnologías e investiga los procedimientos requeridos para su adopción.</p>	<p>Participa en los programas de formación de médicos especialistas en medicina nuclear, radiología o imágenes diagnósticas, de físicos médicos, tecnólogos, enfermeras y personal de mantenimiento en temas de física médica y de protección radiológica asociada a las imágenes diagnósticas. Participa en los programas de formación continua del personal en el área de su competencia.</p> <p>Apoya la investigación clínica en sus aspectos técnicos y, en centros de alta complejidad tecnológica, evalúa nuevas tecnologías e investiga los procedimientos requeridos para su adopción.</p>	<p>Organiza programas de educación y formación continua del personal en materia de protección y seguridad radiológica.</p> <p>Evalúa permanentemente los conocimientos del personal en protección y seguridad radiológica.</p>
<p>Protección radiológica en la exposición médica</p>	<p>Investigación de exposiciones médicas accidentales.</p> <p>Preparación de documentos y mantenimiento de registros requeridos por las autoridades reguladoras competentes, en sus áreas de trabajo.</p>	<p>Investigación de exposiciones médicas accidentales.</p> <p>Preparación de documentos y mantenimiento de registros requeridos por las autoridades reguladoras competentes, en sus áreas de trabajo.</p>	

4. FORMACIÓN ACADÉMICA Y CLÍNICA DEL FÍSICO MÉDICO

4.1. Generalidades

La necesidad de formación académica y clínica para los físicos médicos se origina en las aplicaciones modernas de la física en las especialidades médicas de radioterapia, medicina nuclear, radiología, terapia con láser, cardiología, y fisiología, entre otras. Existe una carencia notable de físicos médicos en la región, aún en la especialidad donde éstos se desempeñan con mayor frecuencia, la radioterapia. De acuerdo con estimaciones recientes, en América Latina se requerirían más de 900 físicos médicos² — solamente en radioterapia — para cumplir con las recomendaciones de organizaciones científicas y profesionales internacionales [5, 7] y, en la actualidad, sólo se dispone de aproximadamente 500. El análisis de la realidad actual debe considerar que un gran porcentaje de los físicos vinculados a hospitales no poseen una formación académica completa en física médica, pues son generalmente profesionales con un título en física, física nuclear, ingenierías u otras equivalentes. Su formación ha sido hasta ahora muy heterogénea, dependiendo del interés personal y de su empleador, así como de la oferta limitada de programas académicos y clínicos.

Aunque actualmente (fines de 2007) existen varios programas de grado universitario y de postgrado para formación de físicos médicos en la región, sus contenidos son variables, tanto en los aspectos teóricos como prácticos, tal como se describe a continuación.

4.2. Modalidades de formación de físicos médicos en América Latina

4.2.1. Definiciones

La variedad de términos utilizados en los países de la región para referirse a los niveles educativos y grados académicos justifica puntualizar sus significados.

La educación universitaria en diferentes países incluye la formación a nivel de grado universitario (conocido en algunos países como pregrado), que conduce a la licenciatura (*bacharelado* en Brasil), la ingeniería, el título de graduado de física o química, o similar. Estos estudios tienen una duración de 4 a 5 años y sus grados son otorgados por instituciones de educación superior (universidades) reconocidas por los Ministerios (o Secretarías) de Educación de cada país. A los estudios universitarios que se realizan después de este período inicial, con el propósito de formar profesionales especializados, profesores universitarios e investigadores, se los denomina postgrados, e incluyen: Especialidad o Especialización, Maestría (o Magíster) y Doctorado. La duración de estos estudios para la especialización es de 1 a 3 años, para la Maestría de 1½ a 2 años y para el Doctorado de 2 a 5 años.

Hay programas, generalmente ofrecidos por instituciones de salud (hospitales o clínicas), llamados residencias hospitalarias (*aprimoramento* en Brasil) que, además de la formación académica, incluyen entrenamiento clínico para físicos médicos.

Existen modalidades adicionales de educación de postgrado, consistentes en cursos impartidos de manera continua o por bloques independientes, para la adquisición y profundización de conocimientos en áreas particulares del desempeño profesional, en estrecha vinculación con

² Estimado a partir de la incidencia anual de cáncer en la región, según datos de IARC/Globocan 2002 www-dep.iarc.fr, suponiendo que un 50% de los pacientes serán tratados con radioterapia, y que se necesita un físico médico por cada 400 nuevos casos, aproximadamente.

las funciones y requerimientos de los puestos de trabajo. Por la brevedad de su duración a estos cursos no se los considera parte de los grados académicos de postgrado.

4.2.2. Modalidades de formación en física médica existentes en la región

Hasta 1994, en algunos países de la región de América Latina y el Caribe (Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y México) existían programas de formación en física con orientación opcional hacia física médica o física radiológica. Algunos de estos programas todavía se mantienen, y otros han sido modificados y convertidos en Maestrías en Física Médica. El cuadro 2 presenta una lista de instituciones universitarias de la región que ofrecen cursos de formación a nivel de grado universitario y de postgrado en física médica, incluyendo algunas de sus características. El cuadro 3 presenta los programas existentes de entrenamiento clínico.

El programa típico para una formación a nivel de grado universitario en física médica consiste de cursos de física y matemáticas (una fracción de lo que constituye una Licenciatura tradicional en Física), además de cursos de biología, medicina y química. En general, estos programas residen en facultades de ciencias exactas o de ingeniería.

De acuerdo con la información ofrecida por las instituciones sedes de los programas a nivel de grado universitario en física médica, el perfil del egresado incluye habilidades para administración y asesoramiento en tecnología médica nuclear, diseño y desarrollo de equipamiento de diagnóstico y tratamiento, colaboración en las aplicaciones terapéuticas y en la planificación de tratamientos que utilizan radiación, participación en la implementación de medidas de protección tendientes a garantizar el uso seguro de radiación para fines terapéuticos y de diagnóstico, participación en la obtención y optimización de imágenes, y apoyo en el desarrollo de software especializado en el área. Algunas de estas carreras profesionales ofrecen a sus titulados la posibilidad de realizar investigación en el área biomédica, capacitación que no corresponde a un programa de nivel licenciatura.

Actualmente se ofrecen en la región programas de postgrado a nivel de Maestría en Física Médica en Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, México, Perú y Venezuela. El programa colombiano ofrecía la línea de investigación en física radiológica en la Maestría en Ciencias, y a partir de enero del 2007 ofrece una Maestría en Física Médica. El programa de la Universidad Central de Venezuela ofrece, además de la Maestría en Física Médica, un postgrado de especialización en física médica, con un plan de estudios teórico/práctico que da énfasis al entrenamiento clínico.

Estos programas de postgrado generalmente pertenecen al área de ciencias físicas de una universidad (aunque algunos son del área de ciencias de la salud). Se requiere que el estudiante que ingresa tenga los conocimientos de física y matemáticas a nivel de licenciatura en física o equivalente. Todos los programas incluyen la física en radioterapia dentro de su plan de estudios. La mayoría contiene cursos de imagenología con radiación ionizante. Las imágenes de resonancia magnética, el uso de láser, y otras aplicaciones médicas de radiaciones no-ionizantes, son parte del programa sólo en aquellos postgrados en que el perfil de sus docentes lo permite.

El plan de estudios típico de las Maestrías existentes en Física Médica requiere 3 ó 4 semestres de dedicación exclusiva e incluye cursos de física de las radiaciones ionizantes, dosimetría, protección radiológica, física de la radioterapia y del diagnóstico por imágenes, instrumentación médica, así como cursos de ciencias médicas, biología celular y radiobiología. Los programas que contemplan áreas más allá de la física radiológica ofrecen

cursos especializados como materias opcionales. Además de los cursos, estos planes de estudios exigen la elaboración de una tesis para otorgar el título. Los plazos, la carga académica formal y el tiempo requerido para la elaboración de la tesis no permiten que, además, el estudiante pueda adquirir un entrenamiento práctico supervisado de larga duración. Sin embargo, algunas de las Maestrías existentes incluyen ‘residencias’ hospitalarias, inspiradas en las residencias de los estudiantes de medicina, dentro de sus actividades académicas. Generalmente, estas residencias semestrales cubren más de una especialidad, precisamente buscando brindar un primer nivel — tan amplio como se pueda — de entrenamiento o conocimiento clínico práctico. Probablemente sea el proyecto de tesis realizado en un hospital el que expone al estudiante de Maestría a una primera ‘práctica hospitalaria’ supervisada.

De acuerdo con la información ofrecida por las instituciones sedes de los programas de Maestría en Física Médica, el perfil de egreso de éstas incluye una sólida formación básica en los principios y técnicas de la física que constituyen el origen de las aplicaciones modernas en diagnóstico y terapia, conocimientos básicos en medicina y biología que permitan trabajar en equipos multidisciplinarios, formación específica en el manejo de técnicas modernas de tratamiento médico mediante radiaciones ionizantes y en la generación e interpretación de imágenes médicas, conocimiento de las reglamentaciones específicas para el manejo y la protección de radiaciones, y capacidades para participar en investigación.

En Brasil y México también existen programas de postgrado que ofrecen el grado de Doctor en Física Médica. El plan de estudios típico de estos programas de Doctorado requiere de 3 a 5 años de dedicación. De acuerdo con la información ofrecida por las instituciones sedes, sus programas están destinados a preparar al estudiante para realizar investigación original y de frontera en el área. El perfil de ingreso a estos programas generalmente requiere que el postulante cuente con una Maestría en Física Médica y el de egreso, enfatiza la capacidad de realizar investigación.

Hay en la región (en Brasil y, recientemente, en Argentina) programas de entrenamiento clínico estructurados alrededor de una práctica hospitalaria intensiva, denominados residencias hospitalarias o *aprimoramento en Brasil* (véase el cuadro 3). Para ingresar se requiere que el interesado provenga directamente de una Licenciatura o *Bachalerado* en Física o Física Médica, y su plan de trabajo consta de cursos teóricos y práctica hospitalaria. La mayoría de estos entrenamientos son para el área de radioterapia y el resto en radiología y/o medicina nuclear.

Adicionalmente, en países como Argentina y Cuba, existen programas de postgrado en áreas específicas de la física médica (radioterapia o medicina nuclear) que brindan una capacitación teórico/práctica como base para el otorgamiento, por parte de los órganos reguladores, de los permisos para ejercer en la práctica médica correspondiente.

En el cuadro 2 se observa que en los últimos 5 años se han titulado 190 físicos médicos en los programas de Maestría y 48 en los de Doctorado. En el cuadro 3 se muestra que para toda la región la capacidad anual actual de ingreso a los programas de entrenamiento hospitalario es de solamente 26 plazas para radioterapia y 9 en diagnóstico por imágenes.

CUADRO 2. PROGRAMAS UNIVERSITARIOS DE FORMACIÓN EN FÍSICA MÉDICA EXISTENTES EN 2007

Nombre del programa	Institución que otorga el grado	Ciudad/ País	Nivel	Fecha de inicio	Ingreso acumulado	Titulados en últimos 5 años
Ingeniería en Física Médica	Universidad Favaloro	Buenos Aires/ AR	Grado	1999 (tronco común); 2002 (física médica)	28	10
Licenciatura en Física Médica	Universidad Nacional de San Martín	San Martín/ AR	Grado	1994	140	8
Licenciatura en Física Médica	Universidad Nacional de La Plata	La Plata/ AR	Grado	2002	450	0
Bacharelado en Física Médica	Universidade de São Paulo	Riberão Preto/BR	Grado	2000	ND	ND
Bacharelado en Física (énfasis en Física Médica)	Pontificia Universidade Católica de São Paulo	São Paulo/ BR	Grado	1998	ND	ND
Bacharelado en Física Médica	Universidade Estadual de Campinas	Campinas/ BR	Grado	ND	ND	ND
Bacharelado en Física Médica	Universidade Federal do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro/BR	Grado	ND	ND	ND
Bacharelado en Física Médica	Universidade Federal de Sergipe	São Cristovão/ BR	Grado	ND	ND	ND
Bacharelado en Física Médica	Centro Universitario Franciscano	São Paulo/ BR	Grado	2004	ND	ND
Bacharelado en Física (énfasis en Física Médica)	Universidade Católica de Pernambuco	Recife/BR	Grado	2006	ND	ND
Bacharelado en Física Médica	Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	Porto Alegre/BR	Grado	ND	ND	ND
Bacharelado en Física Médica	Universidade Estadual Paulista	Botucatu/ BR	Grado	2003	ND	ND
Licenciatura en Física, opción Física Médica	Universidad Central de Venezuela	Caracas/ VE	Grado	1998	ND	24
Curso Física de la Radioterapia	Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson	Buenos Aires/AR	Postgrado	1979	123	20

CUADRO 2. PROGRAMAS UNIVERSITARIOS DE FORMACIÓN EN FÍSICA MÉDICA EXISTENTES EN 2007 (cont.)

Nombre del programa	Institución que otorga el grado	Ciudad/ País	Nivel	Fecha de inicio	Ingreso acumulado	Titulados en últimos 5 años
Diplomado en Física de la Radioterapia	Instituto Superior de Ciencias Médicas	La Habana/ CU	Postgrado	2003	54	35
Diplomado en Física de la Medicina Nuclear	Instituto Superior de Ciencias Médicas	La Habana/ CU	Postgrado	2006	28	0
Maestría en Física Médica	Universidad de Buenos Aires	Buenos Aires/AR	Postgrado	1994	35	6
Maestría en Física Médica	Instituto Balseiro/ Fundación Escuela de Medicina Nuclear	Bariloche, Mendoza/ AR	Postgrado	2003	28	19
Maestría en Física Médica	Universidad Nacional de Colombia	Bogotá/CO	Postgrado	2007	10	0
Maestría en Física Médica	Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías de Avanzada	La Habana/ CU	Postgrado	2003	24	8
Maestría en Ciencias (Física Médica)	Universidad Nacional Autónoma de México	Ciudad de México/ MX	Postgrado	1997	76	34
Maestría en Ciencias, con especialidad en Física Médica	Universidad Autónoma del Estado de México	Toluca/MX	Postgrado	1996	ND	19
Maestría en Ciencias, con mención en Física Médica	Universidad Nacional de Ingeniería	Lima/PE	Postgrado	1996	92	3
Especialización y Maestría en Física Médica	Universidad Central de Venezuela	Caracas/ VE	Postgrado	1998	43	5
Maestría en Física Médica	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas	Caracas/ VE	Postgrado	1998	30	23
Maestría en Biología – Biociencias Nucleares	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro/BR	Postgrado	1993	ND	9
Maestría en Física Aplicada a Medicina y Biología	Universidade de São Paulo	Ribeirão Preto/BR	Postgrado	1986	82	64

CUADRO 2. PROGRAMAS UNIVERSITARIOS DE FORMACIÓN EN FÍSICA MÉDICA EXISTENTES EN 2007 (cont.)

Nombre del programa	Institución que otorga el grado	Ciudad/ País	Nivel	Fecha de inicio	Ingreso acumulado	Titulados en últimos 5 años
Doctorado en Biología – Biociencias Nucleares	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro/BR	Postgrado	1993	ND	4
Doctorado en Física Aplicada a Medicina y Biología	Universidade de São Paulo	Ribeirão Preto/BR	Postgrado	1995	41	39
Doctorado en Ciencias, con especialidad en Física Médica	Universidad Autónoma del Estado de México	Toluca/MX	Postgrado	1996	ND	5

ND: información no-disponible.

CUADRO 3. PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO HOSPITALARIO EN FÍSICA MÉDICA EXISTENTES EN 2007

Nombre del programa	Institución	Ciudad/País	Área del entrenamiento	Duración del entrenamiento
Aprimoramiento en Radioterapia	Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo	São Paulo/BR	Radioterapia	2 años (tiempo completo)
Aprimoramiento en Radioterapia	Instituto Nacional de Câncer	Río de Janeiro/BR	Radioterapia	2 años (tiempo completo)
Aprimoramiento en Radioterapia	Hospital del Câncer A. C. Camargo	São Paulo/BR	Radioterapia	2 años (tiempo completo)
Aprimoramiento en Radioterapia	Hospital Sirio-Libanés	São Paulo/BR	Radioterapia	2 años (tiempo completo)
Aprimoramiento en Radioterapia	Universidade Federal de São Paulo/Escola Paulista de Medicina	São Paulo/BR	Radioterapia	2 años (tiempo completo)
Aprimoramiento en Radioterapia	Hospital de Clínicas, Universidade Estadual de Campinas	Campinas/BR	Radioterapia	2 años (tiempo completo)
Aprimoramiento en Radioterapia	Hospital das Clínicas, Universidade de São Paulo	Ribeirão Preto/BR	Radioterapia	2 años (tiempo completo)
Aprimoramiento en Radioterapia	Hospital de Câncer Fundação Pio XII	Barretos/BR	Radioterapia	2 años (tiempo completo)
Aprimoramiento en Radioterapia	Hospital Erasto Gaertner	Curitiba/BR	Radioterapia	2 años (tiempo completo)
Aprimoramiento en Física Aplicada a Radiología	Instituto Nacional de Câncer	Río de Janeiro/BR	Radiodiagnóstico o medicina nuclear	2 años (tiempo completo)

CUADRO 3. PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO HOSPITALARIO EN FÍSICA MÉDICA EXISTENTES EN 2007 (cont.)

Nombre del programa	Institución	Ciudad/País	Área del entrenamiento	Duración del entrenamiento
Aprimoramiento en Física Aplicada a Radiología	Hospital das Clínicas, Universidade de São Paulo	São Paulo/BR	Radiodiagnóstico o medicina nuclear	2 años (tiempo completo)
Aprimoramiento en Física Aplicada a Radiología	Hospital de Clínicas, Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	Porto Alegre/BR	Radiodiagnóstico o medicina nuclear	2 años (tiempo completo)
Especialización en Física Médica	Universidade Federal de São Paulo/Escola Paulista de Medicina	São Paulo/BR	Diagnóstico por imágenes	2 años (tiempo completo)
Residencia en Física Médica (Radioterapia)	Hospital Oncológico Prof. Dr. Urrutia	Córdoba/AR	Radioterapia	3 años (tiempo completo)
Prácticas clínicas para ejercer como Especialista en Física de la Radioterapia	Fundación Escuela de Medicina Nuclear	Mendoza/AR	Física de radioterapia	1 año (tiempo completo)
Práctica activa en radioterapia	Comisión Nacional de Energía Atómica/Instituto Roffo-Universidad de Buenos Aires	Buenos Aires/AR	Radioterapia	1 año (6 horas diarias)

Los programas de entrenamiento de Brasil (aprimoramiento) ofrecen 17 plazas anuales en radioterapia y 6 en diagnóstico por imágenes, y los de Argentina, 9 plazas anuales en radioterapia y 3 en medicina nuclear.

4.3. Modalidades recomendadas

Organismos internacionales interesados en el tema, así como organizaciones profesionales nacionales y regionales, han emitido desde hace — al menos — 30 años recomendaciones específicas relativas a la formación académica y al entrenamiento requerido para un físico médico clínico. En esta sección se sugieren modalidades para la formación de estos profesionales en la región, consistentes con lo que establecen actualmente la Asociación Americana de Físicos en Medicina (AAPM) [8] y la Federación Europea de Organizaciones de física médica (EFOMP) [9]. Estas recomendaciones recogen muchos años de experiencia en el tema de la formación profesional del físico médico y al mismo tiempo corresponden a las necesidades de la medicina del siglo XXI. La formación y entrenamiento de un físico médico debe contemplar 3 etapas:

- Educación a nivel de un grado universitario con énfasis en contenidos de física, matemáticas y otros temas relevantes;
- Especialización en las aplicaciones de la física en la medicina;
- Entrenamiento para el desarrollo de habilidades y competencias en la clínica.

Esto se traduce en 3 elementos académico/profesionales:

- (1) Formación académica de grado universitario: Licenciatura en Física, o equivalente, según lo descrito en la sección 4.2.1.
- (2) Formación académica de postgrado: Programa formal de cursos, seminarios y trabajo práctico en física médica, con duración mínima de 1–2 años.
- (3) Entrenamiento clínico supervisado: Programa de adquisición de habilidades y competencias para el desempeño independiente en alguna de las áreas de la física médica, con duración mínima de 1–2 años.

Es posible unificar la formación académica de postgrado y el entrenamiento clínico para un área de la física médica, dentro de un programa de tipo residencia hospitalaria de duración mínima de 3 años. Cualquiera que sea la modalidad específica escogida, se debe garantizar que los contenidos mínimos de los programas académicos y de entrenamiento clínico satisfagan las necesidades de la práctica hospitalaria, para lo cual deberían someterse a un proceso de acreditación.

La acreditación de un programa académico y/o de entrenamiento clínico es un proceso voluntario, cuyo objetivo es asegurar que el programa o institución ha alcanzado un estándar definido. La acreditación emitida por una entidad profesional debidamente autorizada (por ejemplo, un colegio o una sociedad profesional) sirve como un reconocimiento público que le brinda calidad al servicio prestado. La acreditación se basa en el veredicto de un comité evaluador, constituido por representantes de sociedades profesionales, universidades, paneles de expertos o una combinación de éstos.

La capacidad para el desempeño independiente de un profesional cualificado en una o más especialidades de la física médica, lo que en este documento se ha denominado **físico médico cualificado clínicamente** (véase la sección 2.3), requeriría, además de lo mencionado, de una **certificación** (véase la sección 5).

En lo referente a los elementos 1 y 2 de la formación sugerida, estas recomendaciones son realistas para las futuras generaciones de físicos médicos en la región. Sin embargo, respecto del elemento 3, la información presentada en el cuadro 3 mostró que las posibilidades de efectuar los entrenamientos hospitalarios en programas formales son limitadas.

Por otra parte, para la mayoría de los profesionales trabajando actualmente como físicos médicos en América Latina, resultará difícil adaptarse a este esquema. Su situación es tal que al llevar muchos años alejados de las aulas universitarias, y haber alcanzado una estabilidad laboral, no están en capacidad de abandonar el trabajo para recibir un entrenamiento académico que requiera dedicación exclusiva. Para ellos, la dedicación de tiempo completo a un programa académico en esta etapa de sus vidas no es viable. Además, ya cuentan con un entrenamiento clínico, aunque quizás no haya sido supervisado por un físico médico competente, en el área de especialización en que trabajan. Una de las recomendaciones de este documento es que los profesionales que han ejercido durante más de 5 años como físicos médicos clínicos, sean evaluados por un comité ad hoc para determinar sus requisitos de certificación. Una recomendación alternativa, particularmente relevante para países cuya infraestructura en física médica no permita el establecimiento de los elementos académico/profesionales 2 y/o 3, se describe en la sección 5.3.

Los cuadros 4 y 5 resumen las características generales que deben cumplir las modalidades de formación recomendadas en esta sección. Los contenidos mínimos requeridos se establecen en las secciones 4.4 y 4.5. Los apéndices A presentan contenidos curriculares típicos de

programas de física médica con especialización en radioterapia y en diagnóstico por imágenes, y los apéndices B, aquéllos de las residencias hospitalarias.

En caso que el interesado en obtener una cualificación clínica en física médica ya posea un grado de Maestría o Doctorado en Física o campo relacionado, deberá completar su formación académica en física médica, si fuera necesario, acorde con lo que se describe en la sección 5.

Los físicos médicos cualificados clínicamente que hayan ejercido por 6 o más años (tiempo completo) en el campo hospitalario, podrían optar por su certificación como experto en física médica (véase la sección 2.3).

En la figura 1 se muestran gráficamente las posibles vías que pueden presentarse para la formación de un físico médico cualificado clínicamente y de un experto en física médica.

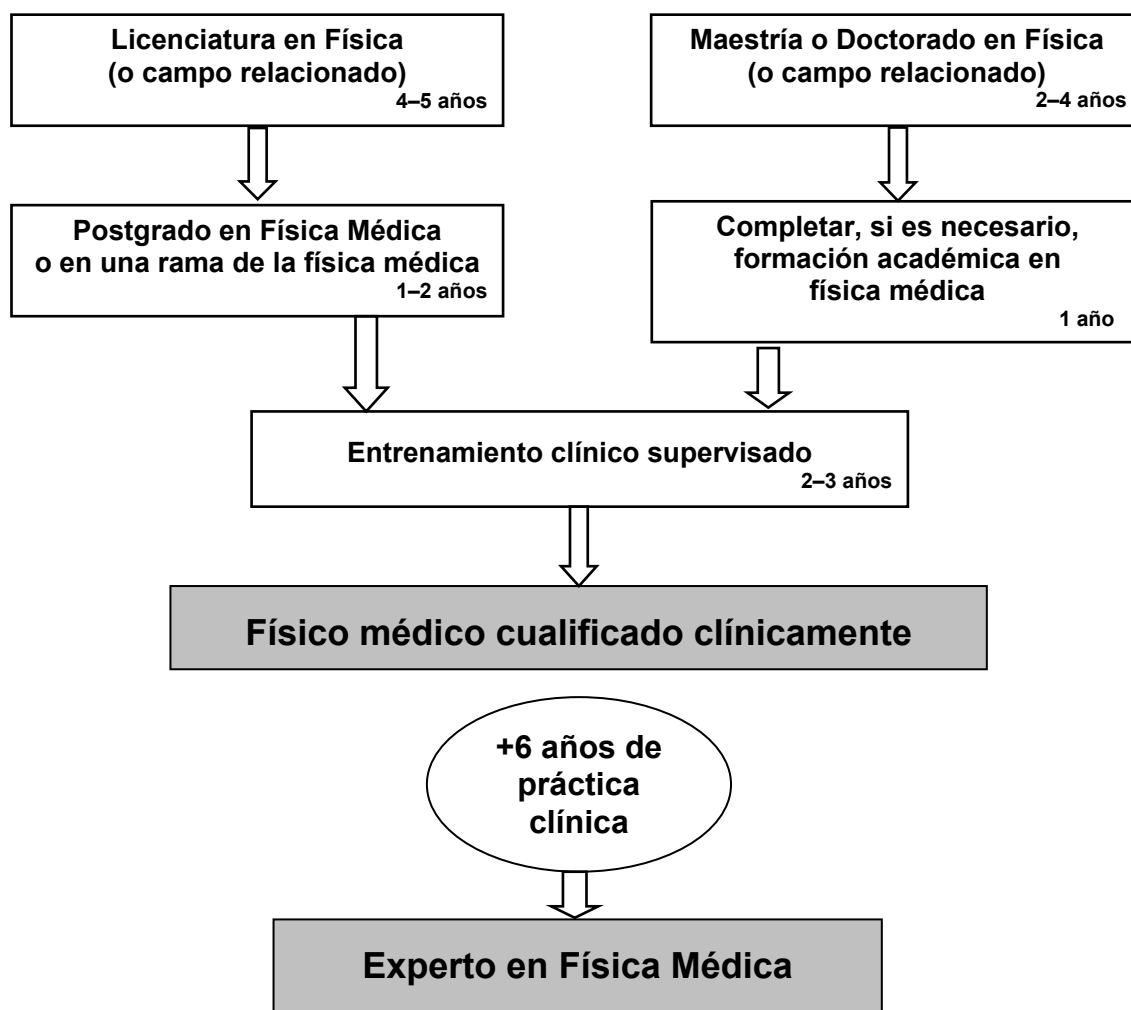


FIG. 1. Posibles vías para la formación de un físico médico cualificado clínicamente y de un experto en física médica.

CUADRO 4. CARACTERÍSTICAS DE LAS MODALIDADES RECOMENDADAS PARA FORMACIÓN ACADÉMICA DE POSTGRADO

<p>Postgrado en física médica*</p> <p>(a) Programa universitario de postgrado que abarca las distintas áreas de la física aplicada en la medicina (radioterapia y diagnóstico por imágenes), incluyendo en su plan de estudios contenidos mínimos como los descritos en la sección 4.4.</p> <p>(b) Objetivo: brindar el conocimiento necesario para el desempeño profesional en varias áreas de física médica y/o iniciar una carrera de investigación.</p> <p>(c) Duración (típica) equivalente a 3–4 semestres con dedicación de tiempo completo y con requisito de tesis.</p> <p>(d) Requisitos de ingreso: grado universitario superior en física o carreras afines con un alto contenido de física. Examen de ingreso que debe incluir pruebas de suficiencia en física y matemáticas.</p> <p><i>*Por ejemplo: Maestría, Magíster</i></p>	
<p>Postgrado en una rama de la física médica*</p> <p>(a) Programa de postgrado en un área de la física médica (radioterapia o diagnóstico por imágenes) incluyendo en su plan de estudios contenidos mínimos correspondientes a dicha área, como se especifica en la sección 4.4.</p> <p>(b) Objetivo: brindar las bases teórico-prácticas necesarias para el desempeño profesional en un área de servicio específico de física médica.</p> <p>(c) Duración (típica) equivalente a 2 semestres académicos.</p> <p>(d) Requisitos de ingreso: grado universitario superior en física o carreras afines con un alto contenido de física. Examen de ingreso que debe incluir pruebas de suficiencia en física y matemáticas.</p> <p><i>*Por ejemplo: Especialización, componente académico de una residencia, diplomado</i></p>	

CUADRO 5. CARACTERÍSTICAS DEL ENTRENAMIENTO CLÍNICO RECOMENDADO PARA EL EJERCICIO PROFESIONAL INDEPENDIENTE (véase las secciones 4.5.1 y 4.5.2)

Formación académica de base	Entrenamiento clínico supervisado en un área específica (radioterapia o diagnóstico por imágenes)*
Postgrado en física médica	Mínimo 2 años de tiempo-completo-equivalente, en el área de elección
Postgrado en una rama de la física médica (física de la radioterapia o física del diagnóstico por imágenes)	Mínimo 2 años de tiempo-completo-equivalente, en el área del postgrado cursado
Postgrado en física (o área afín)	Mínimo 3 años de tiempo-completo-equivalente, en el área de elección

**En algunos programas universitarios de postgrado existe, dentro del plan de estudios, una residencia hospitalaria que cumple con parte de este requisito. En ese caso, el supervisor del entrenamiento clínico tomará en cuenta las áreas de competencia cubiertas durante ese periodo al establecer la duración total del mismo.*

4.4. Contenidos de programas de formación académica

Los programas de la formación académica de postgrado varían inevitablemente entre universidades, reflejando los intereses, recursos materiales y humanos, y especialidades de éstas. La intención de esta sección es describir los conocimientos y habilidades mínimas que deben impartir estos programas. Las secciones 4.4.1, 4.4.2 y 4.4.3 describen contenidos que se han adaptado de diversas recomendaciones internacionales [8–11] y que han sido analizadas en reuniones de expertos en la Sección de Dosimetría y Física Médica (DMRP) de la División de Salud Humana del OIEA. De acuerdo con el cuadro 4, un postgrado en física médica deberá incluir los contenidos generales (sección 4.4.1) así como los específicos de física de la radioterapia (sección 4.4.2) y los de física del diagnóstico por imágenes (sección 4.4.3). Un postgrado en una rama específica de la física médica (física de la radioterapia o física del diagnóstico por imágenes) deberá contener los temas generales (sección 4.4.1) y los de una subespecialidad particular (secciones 4.4.2 ó 4.4.3, respectivamente). En los apéndices A se incluyen contenidos detallados para programas académicos típicos.

Se reconoce que la responsabilidad de mantener los niveles académicos en los programas universitarios de postgrado en física médica descansa en cada universidad, y se garantiza mediante los sistemas de acreditación de cada país. Por tanto, el principal interés de esta sección es asegurar una adecuada cobertura de contenidos necesarios para los programas de formación académica.

4.4.1. Contenidos generales

Se espera que la formación académica de un físico médico, independientemente de su área de especialización, imparta al futuro especialista los siguientes conocimientos de índole general [8]:

Física de las radiaciones y dosimetría

El material cubierto por el programa debe enseñar al estudiante las bases de la física de las radiaciones y dosimetría, a nivel de postgrado. Se presentan magnitudes y unidades, y se discuten los procesos de decaimiento radiactivo e interacciones de la radiación con la materia, con énfasis en la transferencia de energía y el depósito de la dosis. Antes que el estudiante proceda al aprendizaje del diseño de blindajes en un curso de protección radiológica, se debe comprender la atenuación exponencial, para haces angostos y anchos.

La dosimetría se basa en las aplicaciones del equilibrio de partículas cargadas, equilibrio de radiación y/o teoría de cavidades, por lo que se deben cubrir estos temas antes de estudiar el uso práctico de las cámaras de ionización y los dosímetros de estado sólido.

Estos temas se pueden enseñar en segmentos, como parte del curso de física de la radioterapia, del diagnóstico con imágenes, de la medicina nuclear o de la protección radiológica. Sin embargo, el material puede constituir un curso inicial del programa, seguido por los otros cursos de índole especializada. Cualquier repetición de estos temas ayudará a comprender mejor estos tópicos esenciales.

Protección radiológica

La protección radiológica se relaciona con las áreas tradicionales de la física médica en que se utilizan las radiaciones ionizantes. Conecta los procesos físicos microscópicos con la

respuesta celular. Se debe poner énfasis en el uso de instrumentos de detección de la radiación y en el diseño de blindajes. Los temas relativos a la normatividad de cada país deben ser parte del programa. La enseñanza de este tema requiere una serie de prácticas de laboratorio enfocadas al uso de instrumentación científica, medidas ambientales, y diversos cálculos de blindajes. El énfasis debería ser proveer bases amplias de protección radiológica que permitan el desempeño del estudiante en las áreas de física médica relacionadas con la radiación ionizante.

Radiobiología

Los efectos biológicos de la radiación tienen importancia en todas las áreas de la física médica. Estos temas deben presentarse de manera coherente y consistente en un mismo módulo, y no dispersos entre cursos variados.

Anatomía y fisiología

El estudiante deberá aprender a interpretar la terminología médica común a partir del conocimiento de sus raíces griegas y latinas, identificar las estructuras anatómicas del cuerpo humano, definir los órganos de los sistemas principales, y describir los mecanismos fisiológicos de reparación, mantenimiento y crecimiento. Las estructuras anatómicas y las funciones fisiológicas deberán correlacionarse con las modalidades de imagenología utilizadas actualmente para su visualización.

Tópicos especiales

En esta sección se mencionan temas importantes en la formación de un físico médico. Éstos se pueden incorporar al diseño curricular como parte de otros cursos. Por ejemplo, las habilidades en cómputo pueden ser parte de un curso de radioterapia o de diagnóstico con imágenes.

- Habilidades en computación. Las aplicaciones del cómputo son una herramienta esencial para un físico médico que deba realizar labores básicas profesionales. Se debe incluir una introducción al manejo de redes de computadoras y sistemas de comunicación médicos.
- Métodos estadísticos en las ciencias médicas. Se debe instruir al estudiante en el diseño de experimentos y en la adquisición, edición, análisis, interpretación, presentación y reporte de datos obtenidos en estudios empíricos.
- Seguridad. Se debe familiarizar al estudiante con los riesgos y precauciones necesarias para manejar con seguridad los elementos eléctricos, químicos, biológicos y radiológicos en la práctica de la física médica clínica.
- Aspectos profesionales. Se debe instruir al futuro físico médico sobre estructuras gerenciales en hospitales, relaciones entre servicios asistenciales y técnicos, normas del trabajo en grupos interdisciplinarios, infraestructura de trabajo con otros profesionales (médicos, tecnólogos, ingenieros biomédicos, enfermeras, informáticos, etc.), así como impartirle los conocimientos mínimos de comunicación oral necesarios para una adecuada relación con el grupo interdisciplinario.

4.4.2. Contenidos específicos de física de la radioterapia

En esta sección se presentan los contenidos específicos mínimos requeridos en un programa académico de postgrado que instruya al físico médico en el área de la física de la radioterapia. Un ejemplo de plan de estudios se muestra en el apéndice A-1.

Radio-oncología

En radioterapia se utiliza la radiación ionizante para el tratamiento de pacientes con cáncer y se usan diversas fuentes de radiación con características particulares, siguiendo métodos y procedimientos específicos, dependiendo de las características de las fuentes, del tipo y ubicación de la lesión y de los medios técnicos disponibles. Se deben revisar las diferentes modalidades e identificar su papel en el manejo actual de los tratamientos contra el cáncer.

Radioterapia externa

Se deben enseñar al estudiante las aplicaciones médicas de los haces externos de radiación de equipos diseñados para producir haces colimados. Se debe presentar la caracterización de los haces, las cantidades dosimétricas relacionadas, y los métodos para impartir una distribución de dosis en tumores y tejido sano de pacientes.

Braquiterapia

La braquiterapia es la modalidad de tratamiento en que se utilizan fuentes radiactivas para impartir radiación en distancias cortas a través de aplicaciones intersticiales, intracavitarias o superficiales. Se deben discutir las características físicas y la metodología clínica y dosimétrica de estas técnicas.

Planificación de tratamientos

Se debe discutir el proceso de definición de las regiones de interés clínico, los criterios de prescripción de dosis, el modelado de la dosis y la planeación del tratamiento. Se deben discutir los aspectos específicos para el uso de fotones, electrones u otras modalidades. Se deben presentar métodos de verificación para las dosis calculadas e impartidas.

Instrumentación para radioterapia

Existe una amplia gama de instrumentos asociados a la práctica eficaz de la radioterapia, desde irradiadores de cobalto a aceleradores de alta energía, simuladores, tomógrafos de rayos X, ultrasonido, sistemas de imágenes por resonancia magnética y tomografía por emisión de positrones. Se deben discutir el diseño y los procedimientos de mantenimiento, control y garantía de la calidad de estos instrumentos.

Técnicas especiales en radioterapia

Se deben discutir las técnicas especiales en la práctica de la radioterapia, tales como irradiación de cuerpo entero, radiocirugía, radioterapia de intensidad modulada, y otros, que requieren de equipo y técnicas complejas, así como de recursos humanos especializados.

Radioterapia con neutrones, protones y partículas cargadas más pesadas

Se deben presentar las características de los procedimientos en que se usan neutrones, protones y partículas cargadas más pesadas para el tratamiento del cáncer.

Protección radiológica en radioterapia

El físico médico debe conocer las normas, métodos de cumplimiento y elaboración de registros destinados a la protección del personal y del público en general de la exposición

originada en un departamento de radioterapia, incluyendo los métodos de cálculo de blindaje de las instalaciones típicas en esta práctica.

4.4.3. Contenidos específicos de física del diagnóstico por imágenes

En esta sección se describen los contenidos específicos mínimos requeridos para un programa de postgrado que prepare al físico médico en el área de la física del diagnóstico por imágenes. Un ejemplo de programa académico se muestra en el apéndice A-2.

Imágenes planas convencionales

El tema de las imágenes planas convencionales incluye las imágenes radiográficas y fluoroscópicas. Se debe instruir sobre la producción de rayos X, interacción de los rayos X con el paciente, imágenes obtenidas con sistema de película/pantalla, y el procesamiento de las películas. Se deben presentar temas de calidad de la imagen, a través del uso de rejillas antidispersoras, pantallas intensificadoras, contraste, ruido, resolución, etc. Deben discutirse las pruebas de control de calidad y los elementos de la garantía de la calidad para estas técnicas.

Imágenes digitales de rayos X y tomografía computarizada (CT)

Se deben describir las tecnologías modernas de radiografía computarizada y radiografía digital, discutiendo el reemplazo de los receptores de imagen tradicionales. Se debe presentar el procesamiento de las señales digitales y las características de los monitores utilizados para la visualización de las imágenes digitales. Las técnicas de CT se deben discutir, incluyendo los avances en hardware y aplicaciones. Deben discutirse las pruebas de control de calidad y los elementos de la garantía de la calidad para estas técnicas.

Medicina nuclear

Se deben enseñar las bases de la medicina nuclear, incluyendo las cámaras gamma, los sistemas de tomografía por emisión de positrones (PET), sistemas de tomografía por emisión de fotón único (SPECT), y las nuevas tecnologías, como los sistemas PET/CT. Deben discutirse las pruebas de control de calidad y los elementos de la garantía de la calidad para estas técnicas.

Imágenes de ultrasonido

Las imágenes obtenidas por ultrasonido se utilizan en muchos campos de la medicina y estos equipos se encuentran en varios departamentos de un hospital. El entrenamiento debería incluir información sobre la propagación de las ondas en tejido, transductores, generación de las imágenes e instrumentación Doppler. Deben enseñarse los aspectos de seguridad relativos al uso médico del ultrasonido.

Imágenes de resonancia magnética

Se deben enseñar los principios físicos de la obtención de imágenes por resonancia magnética. El énfasis debe ser en las bases de la formación de las imágenes y la precisión espacial, contraste, las secuencias de pulsos más comunes, las aplicaciones clínicas principales y la seguridad. Deben discutirse las pruebas de control de calidad y los elementos de la garantía de la calidad para esta técnica.

4.5. Contenidos de programas de entrenamiento clínico

La experiencia en el desempeño de los físicos médicos en hospitales ha demostrado que, **para el ejercicio seguro de la profesión**, no es suficiente la formación académica de postgrado si ésta no se complementa con **un entrenamiento clínico adecuado**. El establecimiento de programas de entrenamiento clínico es fundamental para la formación de físicos médicos cualificados clínicamente que deban desarrollar sus actividades en un ámbito hospitalario. El programa de entrenamiento debería basarse en el desarrollo de competencias y habilidades que conduzcan a que el físico médico se pueda desempeñar de forma independiente en el ambiente clínico. Los físicos médicos que ingresan a estos entrenamientos clínicos ya deben tener los conocimientos académicos referidos en el cuadro 5.

Las secciones 4.5.1 y 4.5.2 describen lineamientos generales para la organización del programa, así como los temas principales que se deben incluir durante los entrenamientos, adaptados de las recomendaciones de la ESTRO, del Colegio Australiano de Físicos e Ingenieros en Medicina (ACPSEM) y de la AAPM [11–13]. Se elaboran actualmente recomendaciones del OIEA para la evaluación de competencias alcanzadas durante los entrenamientos clínicos en el área de física de radioterapia. En los apéndices B se listan en detalle las habilidades que se deben adquirir durante el entrenamiento.

4.5.1. Programa de entrenamiento clínico en física de la radioterapia

El objetivo principal del programa es capacitar al físico médico para su desempeño independiente en la práctica clínica de la física de la radioterapia. Para conseguir este objetivo se requiere de una infraestructura adecuada, instalaciones, equipos, personal, supervisores, pacientes y ambiente profesional adecuado. El físico médico debe estar bajo la supervisión directa de un tutor (físico médico cualificado clínicamente con más de 2 años de experiencia en el área de entrenamiento) y, en lo posible, debe formar parte de un equipo de trabajo compuesto por físicos médicos especializados en radioterapia.

En cuanto al equipamiento, el centro de entrenamiento debería disponer, como mínimo, de los siguientes equipos y sistemas: acelerador lineal (modalidad electrones y fotones), unidad de cobalto-60, simulador convencional y/o simulador CT, o CT dedicado a radioterapia, equipo de braquiterapia de carga remota, sistema de planificación computarizado para teleterapia y braquiterapia, sistemas de dosimetría y barrido de haces, sistemas de dosimetría in vivo, sistemas de imágenes portales (película y/o EPID), taller de moldes, instrumentos para monitoreos de protección radiológica.

El tiempo mínimo requerido para proveer competencia clínica en física de la radioterapia es de 2 años (tiempo completo), después de haber cumplido con lo establecido en el apéndice A-1. Al finalizar este período, el físico debería alcanzar las habilidades para su desempeño profesional independiente, de acuerdo con lo recomendado en el apéndice B-1.

El equipo de trabajo debe ofrecer progresivamente responsabilidades a los estudiantes en el área de capacitación, asegurándose de que realicen cada vez más independientemente los procedimientos contenidos en la práctica clínica de la física de la radioterapia, incluyendo todos los aspectos descritos en el apéndice B-1.

Los temas generales a cubrir durante el entrenamiento clínico son:

- Dosimetría. Instrumentación y sistemas detectores de radiación.
- Principios y aplicaciones de radiobiología.

- Radioterapia externa. Equipos de terapia y tratamientos, dosimetría clínica de haces de tratamiento convencional, adquisición de datos de pacientes, planificación de tratamiento, técnicas en radioterapia, verificación de tratamientos, garantía de calidad en radioterapia.
- Braquiterapia. Equipamiento, especificación de las fuentes, técnicas y métodos de tratamiento, planificación de tratamiento y cálculo de dosis en braquiterapia, aseguramiento de calidad en braquiterapia.
- Terapia con fuentes abiertas.
- Protección y seguridad radiológica.
- Tareas adicionales. Docencia, investigación y desarrollo, asuntos administrativos.

4.5.2. Programa de entrenamiento clínico en física del diagnóstico por imágenes

El objetivo principal del programa es capacitar al físico médico para su desempeño independiente en la práctica clínica de la física del diagnóstico por imágenes. Para conseguir este objetivo se requiere de una infraestructura adecuada, instalaciones, equipos, personal, supervisores, pacientes y ambiente profesional adecuado. El físico médico debe estar bajo la supervisión directa de un tutor (físico médico cualificado clínicamente con más de 2 años de experiencia en el área de entrenamiento) y, en lo posible, debe formar parte de un equipo de trabajo compuesto por físicos médicos especializados en el diagnóstico por imágenes.

En cuanto al equipamiento, el centro de entrenamiento debería disponer, como mínimo, de los siguientes equipos y sistemas: equipos de rayos X para diagnóstico convencionales y digitales, CT, SPECT, mamografía convencional y digital, RM, US, procesadores de imágenes, red de imágenes, cuartos oscuros, reveladoras automáticas, sistemas de dosimetría de haces, cámaras de ionización, sistemas para calibración de fuentes no selladas, activímetros, densitómetros, kilovoltímetros, y sistemas para el control de calidad de las imágenes.

El tiempo mínimo requerido para proveer competencia clínica en física del diagnóstico por imágenes es de 2 años (tiempo completo), después de haber cumplido con lo establecido en apéndice A-2. Al finalizar este período, el físico debería alcanzar las habilidades para su desempeño profesional independiente, de acuerdo con lo recomendado en el apéndice B-2.

El equipo de trabajo debe ofrecer progresivamente responsabilidades a los estudiantes en el área de capacitación, asegurándose de que realicen cada vez más independientemente los procedimientos contenidos en la práctica clínica de la física del diagnóstico por imágenes, incluyendo todos los aspectos descritos en el apéndice B-2.

Los temas generales a cubrir durante el entrenamiento clínico son:

- Equipamiento.
- Dosimetría de pacientes.
- Protección radiológica.
- Radiodiagnóstico.
- Medicina nuclear. Empleo de los equipos y aplicaciones clínicas, aseguramiento de la calidad y medidas de seguridad.
- Resonancia magnética nuclear. Empleo de los equipos, aplicaciones clínicas, aseguramiento de calidad y medidas de seguridad.

- Ultrasonido. Empleo de los equipos, aplicaciones clínicas, garantía de calidad y medidas de seguridad.
- Tareas adicionales. Docencia, investigación y desarrollo, asuntos administrativos.

5. REGULACIÓN DE LA PROFESIÓN

La profesión del físico médico está reconocida y regulada en muy pocos países. En los Estados Unidos de América (EUA), por ejemplo, todos los estados exigen una certificación individual, emitida por colegios profesionales, para ejercer la profesión. Adicionalmente, los estados de Florida, Texas, Hawai y Nueva York exigen una licencia para realizar, lo que denominan, la práctica de la profesión. En España, en 1997, se creó y reguló la obtención del título oficial de Especialista en Radiofísica Hospitalaria.

Considerando los países en los que existe reglamentación, la situación es muy variada. En el estado de Nueva York, la reglamentación entró en vigencia en febrero de 2003. Ésta define la práctica de la profesión de física médica, y considera que sólo una persona con licencia puede ejercer la profesión de físico médico y usar el título Físico Médico Profesional. Se consideran cuatro áreas de especialización: física del radiodiagnóstico, física de la medicina nuclear, física de la radioterapia y protección radiológica en medicina. Un individuo puede tener más de una especialidad, pero se requiere una licencia por separado para cada una. De acuerdo con los requerimientos, el profesional debe tener al menos 21 años de edad, ser graduado de un programa de Maestría o Doctorado de universidades acreditadas en los EUA o fuera de los EUA. La licencia debe renovarse cada dos años.

En España, el título de Especialista en Radiofísica Hospitalaria es expedido por el Ministerio de Educación y Cultura con el visto bueno del Ministerio de Sanidad y Consumo y se obtiene por el sistema de residencia, de la misma manera que la especialización de los médicos. Los requisitos son: poseer título de licenciado en física, u otros títulos universitarios superiores en disciplinas científicas y tecnológicas oficialmente reconocidas, haber superado una prueba nacional que permitirá el acceso a la formación en una unidad docente acreditada, haber realizado íntegramente y de manera ininterrumpida el ciclo formativo de tres años en una unidad docente acreditada, y haber superado las evaluaciones que correspondan.

En Argentina, para trabajar como físico médico en radioterapia y en medicina nuclear (donde hay equipos PET), la norma vigente exige tener una licencia habilitante. Esta licencia es otorgada por la Autoridad Regulatoria Nuclear tras aprobar el curso de postgrado correspondiente, y de un posterior año de entrenamiento supervisado. La licencia debe renovarse cada 5 años.

5.1. Certificación profesional individual

La competencia de un **físico médico cualificado clínicamente** para el ejercicio de su profesión debe ser avalada por un proceso de certificación. La certificación debe ser emitida en forma individual por una entidad profesional (por ejemplo, un colegio o una sociedad profesional), debidamente autorizada. La certificación se basará en el veredicto de un comité evaluador, constituido por representantes de sociedades profesionales, universidades, paneles de expertos o una combinación de éstos.

Es necesario que este tipo de proceso de certificación sea promovido y respaldado por las autoridades nacionales competentes (académicas, sanitarias y reguladoras).

Para la obtención de dicha certificación, el candidato debería satisfacer los siguientes requisitos:

- Tener una formación académica acorde con alguna de las modalidades detalladas en el presente documento (véase la sección 4.3).
- Haber cumplido el entrenamiento clínico supervisado específico en el área. Aunque algunas modalidades académicas dan una formación general en física médica, el entrenamiento clínico puede ser específico en un área, por lo tanto en la certificación deberá constar cuál es el área que certifica: radioterapia o diagnóstico por imágenes.

En los casos en que el país no cuente con entidades profesionales competentes, el OIEA y/o la OPS podrían seleccionar un grupo de expertos para asesorar en la evaluación para la certificación del candidato.

5.2. Licenciamiento individual

El proceso de certificación es distinto del de licenciamiento individual. Dependiendo del país, pueden existir dos tipos de licencias individuales:

- Licencia de ejercicio profesional, que permite el desempeño profesional en una institución sanitaria, y que es generalmente otorgada por autoridades de salud al personal previamente certificado.
- Licencia personal, que reconoce legalmente que el profesional tiene los conocimientos suficientes en seguridad y protección radiológica, otorgada generalmente por autoridades reguladoras del uso de radiaciones ionizantes.

El licenciamiento profesional debería renovarse periódicamente, una vez comprobada la continuidad laboral en el área (ausencia no mayor de 3 años) o mediante educación continuada acreditada.

5.3. Una propuesta de solución para profesionales en ejercicio

Existen varias situaciones que deben tenerse en cuenta para poder avanzar en la regularización de la profesión y en el cumplimiento de los requisitos de las Normas Básicas Internacionales de Seguridad (NBS) [1].

Por una parte, debido a la ausencia de programas establecidos en física médica en muchos países de la región, existen físicos o ingenieros profesionalmente capacitados pero sin un título en física médica, vinculados a los servicios de radioterapia o diagnóstico por imágenes, cumpliendo funciones de físico médico.

Se recomienda que los profesionales que hayan ejercido durante más de 5 años como físicos médicos clínicos, sean evaluados por un comité ad hoc que defina los requisitos de certificación para cada caso. Esto pudiera implicar que el candidato deba cursar, de forma parcial o completa, un postgrado en una rama de la física médica (véase el cuadro 4) con un programa teórico/práctico que sirva como complemento a la formación, posiblemente informal, que ha adquirido. Ésta es la solución por la cual han optado países como Alemania o España, en donde un número muy importante de físicos laboraban en los hospitales sin el postgrado en física médica exigido por la reglamentación europea actual. Los gobiernos organizaron los procesos de capacitación orientados a complementar la formación de esos profesionales y al cumplimiento de la reglamentación.

Para el caso de ejercicio inferior a 5 años, se recomienda seguir una de las modalidades de formación con programas académicos y de entrenamiento recomendados en este documento. Sin embargo, la realidad es que en muchos países los programas actuales no se adecuan a los contenidos propuestos. En este caso, las sociedades nacionales de física médica, organismos reguladores, sociedades médicas, etc. deberían solicitar a los centros educativos una revisión del programa de postgrado para que se incorporen los contenidos considerados como básicos en este documento.

En los países donde no hay oferta de postgrado, ya sea porque su existencia no se justifique por la poca demanda o porque la creación de un programa no haya sido posible por falta de profesorado competente, se recomienda que el candidato realice sus estudios de postgrado en física médica en un país que ofrezca un programa con los contenidos propuestos en este documento. Deberá considerarse que son necesarios unos dos años para cursar los estudios del programa académico y que posteriormente se debe realizar el entrenamiento clínico, actividad que puede tener lugar en el país de origen.

6. REQUERIMIENTOS DE RECURSOS HUMANOS EN FÍSICA MÉDICA

La necesidad de físicos médicos en cada país depende principalmente del nivel de la atención médica. En radioterapia, radiología (diagnóstica e intervencionista), medicina nuclear y protección radiológica la necesidad de físicos médicos está relacionada con la necesidad de una garantía de calidad adecuada en la atención sanitaria. En algunos países industrializados existen propuestas para estimar el número de físicos médicos necesarios, pero éstas solamente deberían aplicarse a países con un nivel similar de atención médica.

La estimación de los recursos humanos de física médica en un servicio de radioterapia o diagnóstico por imágenes debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- El ámbito de responsabilidades organizativas y de gestión que abarque;
- El número y la complejidad de los equipos y los procedimientos utilizados;
- El número de pacientes atendidos y la complejidad de la asistencia brindada;
- La carga de trabajo de formación y entrenamiento;
- El nivel de participación en investigación y desarrollo.

Esto significa que para poder establecer de forma objetiva criterios de estimación del personal requerido en el área de física médica, es necesario conocer las tareas básicas que deben ejecutarse y el tiempo necesario para su preparación y realización. Un servicio dado, aún sin variar la cantidad y complejidad del equipamiento y atendiendo al mismo número de pacientes, puede requerir en un momento dado un incremento en la cantidad de personal, si se decide, por ejemplo, introducir nuevos procedimientos, o abrir programas de formación, o líneas de investigación.

Otro aspecto no menos importante, pero más difícil de cuantificar a la hora de establecer los criterios para la determinación de necesidades del personal, es el nivel de preparación y entrenamiento del mismo. Como se ha visto en las secciones 4 y 5 de este documento, existen diferentes modalidades de formación de los físicos médicos, que van desde las variantes muy académicas hasta las más prácticas. Los índices usados para establecer la necesidad de recursos humanos suponen que se requieren físicos médicos cualificados clínicamente, sin embargo a la hora de aplicarlos (véase un ejemplo más adelante) se recomienda tener en cuenta las necesidades de cada lugar y el perfil específico de formación disponible.

Un servicio puede crecer en términos de programas de investigación, y por tanto tener interés en contratar un físico con una sólida formación académica, mientras que otro puede aumentar las estaciones de planificación computarizada, dando mayor importancia a la contratación de físicos médicos con perfil más práctico. En todos los casos, el servicio debería contar con un físico médico cualificado con experiencia como responsable del área y luego ir incorporando personal de acuerdo a las necesidades y/o líneas que se quieran desarrollar.

6.1. Herramientas existentes para la estimación de los recursos humanos necesarios en física médica

Diferentes organismos e instituciones han elaborado herramientas con base en índices para estimar la necesidad de personal de física médica en hospitales, algunas de las cuales han sido incluidas en las normativas nacionales de países de América Latina. Estas herramientas se aplican considerando separadamente las tres áreas tradicionales de la física médica: radioterapia, diagnóstico por imágenes (medicina nuclear y radiodiagnóstico) y protección radiológica.

6.1.1. Radioterapia

Debido al creciente reconocimiento del papel del físico médico en los servicios de radioterapia, en esta área existe una mayor disponibilidad de información referente al tema de los recursos humanos mínimos necesarios.

Para los servicios de radioterapia, las recomendaciones más conocidas en la región de América Latina son las de la publicación STI/PUB/1296 del OIEA [14] (actualización el conocido TECDOC-1040), según las cuales el número necesario de físicos médicos debe determinarse únicamente en función del número de pacientes tratados anualmente. Específicamente, se recomienda la vinculación de un físico médico por centro que trata hasta 400 pacientes anualmente, y un físico más por cada 400 pacientes adicionales. Además, se establece la necesidad de dosimetristas o asistentes del físico, recomendando la presencia de uno por cada 300 nuevos pacientes tratados anualmente. Estas recomendaciones se basan en cifras sugeridas por el reporte del Consejo Inter-sociedades para Radio-oncología (ISCRO), conocido como Libro Azul [15].

La aplicación automática de esta recomendación por los órganos reguladores de algunos pocos países en América Latina ha tenido varios efectos en los departamentos de radioterapia. Así, para obtener la licencia de operación del servicio, los portadores de la licencia han debido contratar los servicios de físicos médicos, quienes muchas veces no han estado disponibles en el propio país, por lo que han debido provenir del extranjero. Esto ha llevado a situaciones en que la aplicación de la reglamentación no responde a la necesidad real del departamento pues a la hora de definir la cantidad de personal requerido no se tuvo en cuenta la complejidad o simplicidad del equipamiento y de las técnicas de planificación y tratamiento empleadas.

El *Instituto de Física e Ingeniería en Medicina* del Reino Unido (IPEM) emitió un documento [16] donde analiza los requerimientos mínimos de personal físico en radioterapia. Particularmente en ese trabajo se define, además del físico médico (*clinical scientist* o científico clínico), un nivel profesional (*clinical technologist* o tecnólogo clínico), en cuyas funciones se entrelazan las del ingeniero biomédico (mantenimiento preventivo y correctivo de equipos de radioterapia) y las del dosimetrista (planificación de tratamientos, labor en taller de moldes, controles de calidad).

De acuerdo con el IPEM, los factores que permiten estimar la necesidad de personal en un servicio de radioterapia se agrupan en:

- Dependientes del equipo;
- Dependientes de los pacientes tratados.

A su vez, estos factores se desglosan para estimar las necesidades específicas de físicos médicos y de tecnólogos clínicos; en el caso de estos últimos, los factores se subdividen en la componente correspondiente a física clínica y a ingeniería biomédica.

Hay algunos aspectos a destacar en las recomendaciones del reporte del IPEM [16]:

- Los factores paciente-dependientes se especifican en función de los nuevos cursos de tratamientos, es decir, un paciente puede ser planificado inicialmente, y luego re-planificado, por lo que contaría como 2 cursos de tratamiento.
- Se enfatiza la importancia de la participación del físico médico en el proceso de planificación del tratamiento, aunque se cuente con dosimetristas para ello.
- El número mínimo de físicos por servicio se establece en 3.
- Para departamentos muy grandes se establece una fórmula que estima un factor de economía de escala, donde se establece que el número de físicos requeridos (M) se determina como $M = 0.68N + 2$, donde N es el número de físicos calculado según los criterios establecidos en ese documento.

La Sociedad Española de Física Médica (SEFM) elaboró un trabajo similar [5], basándose en las recomendaciones europeas de ESTRO/EFOMP [7]. Este formalismo de estimación incluye elementos adicionales, tales como la aplicación de técnicas especiales (radioterapia con planificación 3D, radiocirugía, irradiación corporal total, radioterapia intraoperatoria, etc.), los accesorios necesarios para su realización (colimadores multiláminas, cuñas virtuales o dinámicas, colimadores de radiocirugía, aplicadores intraoperatorios, etc.), y las tareas del físico médico relacionadas con la docencia y la investigación.

La presentación de las recomendaciones en el documento de la SEFM se hace en dos tablas separadas. La primera refleja las cifras de personal mínimo necesario en el servicio de radioterapia para trabajo asistencial de rutina, entendiendo como tal la provisión de un servicio básico con equipos y técnicas estándares, mientras que la segunda ofrece los factores correspondientes a los casos de técnicas y métodos especiales y tareas adicionales.

Los factores para estimar la necesidad de personal en un servicio de radioterapia se agrupan en:

- Dependientes de equipos, fuentes y sistemas;
- Dependientes de los pacientes tratados;
- Otras tareas (en la segunda tabla: formación y docencia, informes internos, comisiones y reuniones).

El documento de la SEFM ofrece factores para estimar la necesidad de personal considerando la complejidad del equipamiento. Por ejemplo, para calcular el personal total requerido para cada acelerador lineal multienergético, se recomienda un factor de $0.88 + 0.2k$, donde k es el número de elementos del equipo, tales como colimador multiláminas, cuña virtual o dinámica, colimadores de radiocirugía, aplicadores intraoperatorios, sistema de irradiación corporal total, etc.

De forma similar al documento de IPEM, tanto el de la SEFM como el de EFOMP proponen, además de los factores para estimar el número de físicos médicos, indicadores para estimar las necesidades de personal de apoyo al área de física médica. En esta categoría se incluyen los dosimetristas y otros profesionales que respaldan a esta área, como tecnólogos de radioterapia, ingenieros biomédicos e informáticos.

Con fines de comparación se considera como un extremo a un servicio de radioterapia avanzado, que cuenta con:

- 3 aceleradores lineales multienergéticos, todos ellos con colimador multiláminas, cuña virtual y sistemas de imágenes portales, uno con radioterapia por intensidad modulada (IMRT) y otro con radiocirugía estereotáxica (RCE);
- 1 CT-simulador;
- 1 sistema de planificación 3D con prestaciones avanzadas (IMRT, RCE);
- 1 600 tratamientos al año, de ellos 600 con planificación 3D, 100 con IMRT y 100 con RCE.

Al aplicar las recomendaciones de los documentos analizados, se obtienen los valores indicados en el cuadro 6.

CUADRO 6. PERSONAL DE FÍSICA MÉDICA PARA UN SERVICIO DE RADIOTERAPIA AVANZADO

Referencia	Personal de física médica		
	Físicos médicos	Personal de apoyo	Total
STI/PUB/1296 [14]	4.0	5.3	9.3
IPEM [16]	8.0	7.0*	15.0
SEFM [5]	5.0	7.0	12.0

**Sólo incluye la componente de física clínica del personal de apoyo (los dosimetristas).*

En el otro extremo se encuentra un servicio de radioterapia básico, con igual cantidad de máquinas de megavoltaje y similar carga de pacientes, es decir, que cuenta con:

- 3 unidades de cobalto;
- 1 simulador convencional;
- 1 sistema de planificación 2D;
- 1 600 tratamientos al año.

Los resultados que se obtienen aplicando las mismas recomendaciones, se muestran en el cuadro 7.

CUADRO 7. PERSONAL DE FÍSICA MÉDICA PARA UN SERVICIO DE RADIOTERAPIA BÁSICO

Referencia	Personal de física médica		
	Físicos médicos	Personal de apoyo	Total
STI/PUB/1296 [14]	4.0*	5.3	9.3
IPEM [16]	4.0	3.0	7.0
SEFM [5]	3.0	4.0	7.0

**Sólo considera la componente correspondiente a pacientes, a razón de un físico médico por cada 400 pacientes tratados anualmente.*

En todos los documentos analizados se ha considerado que el personal de física médica tiene una dedicación de tiempo completo (40 horas por semana) al trabajo en el servicio de radioterapia.

Un informe independiente de una compañía consultora [17] brinda un estudio detallado sobre la carga de trabajo en los servicios de física médica en radioterapia de los EUA, clasificando las tareas del físico médico en dos grupos según el tipo de actividades desarrolladas: tiempo dedicado a procedimientos relacionados con el funcionamiento y mantenimiento del equipo (aceptación, calibración, mantenimientos, etc.) y aquellos directamente relacionados con el tratamiento del paciente (planificación, simulación, verificación, etc.). El informe estima el tiempo necesario para la realización de las distintas actividades que ejecuta un físico médico en su labor de rutina.

El análisis de estos datos ayuda a la comprensión de los índices empleados en los distintos documentos analizados para el cálculo de las necesidades de físicos médicos.

6.1.2. Medicina nuclear

La literatura de referencia sobre el trabajo del físico médico en medicina nuclear es escasa y, tal como se indicó anteriormente, ha sido desarrollada en momentos en que ha habido cambios tecnológicos sustanciales. Prácticamente, la casi totalidad del equipamiento actual en servicios de medicina nuclear tiene posibilidades tomográficas de SPECT, la mayor parte de los equipos en venta corresponde a sistemas multidetectores, y los sistemas procesadores son parte integral del equipamiento (no una opción). La introducción en la clínica de los estudios de PET y la aparición de equipos híbridos (PET/CT y SPECT/CT) son hechos que, instrumentalmente, dan otra connotación al papel del físico médico en el servicio de medicina nuclear. La instalación de ciclotrones en el ámbito hospitalario será un área de trabajo de alta complejidad tecnológica, también a considerar en un futuro próximo.

La literatura disponible presenta intervalos muy amplios para las distintas estimaciones. Algunas están basadas solamente en el equipamiento instalado [18], excluyendo las actividades relacionadas con el paciente, los elementos de protección radiológica, los aspectos gerenciales y los de formación y docencia. Las tecnologías de más reciente introducción en la medicina nuclear, como el PET y aun más los sistemas híbridos, aparecen descritos en pocas publicaciones o no se refieren separadamente [19, 6]. Mientras que una de estas organizaciones [19] solicita la presencia de un físico médico de tiempo completo en dichas instalaciones, otra le confiere una complejidad apenas superior a la del equipamiento SPECT [6].

El análisis de las actividades tradicionalmente incluidas en el servicio de medicina nuclear en las que el físico médico está relacionado con el paciente se distinguen habitualmente dos grupos: estudios diagnósticos y terapia con radionúclidos.

La complejidad de los estudios diagnósticos ha ido creciendo, en la medida que han evolucionado los mismos (estáticos, dinámicos, gatillados, SPECT, PET, PET/CT, SPECT/CT o incluso superposición de los mismos, como SPECT-gatillado y otros).

Se reconoce que las actividades de terapia tienen dos niveles de complejidad: las de terapia no-metabólica y las de terapia metabólica. Esta última conlleva la realización de estudios de las fracciones de retención en los diferentes órganos fuente y los cálculos de dosis asociados a dichas distribuciones de actividades. El peso de esta actividad está también considerado de

diferente modo por las diversas organizaciones mencionadas. En algunos servicios, las actividades de terapia con fuentes abiertas se consideran parte de radioterapia.

Otro punto a analizar son las actividades de protección radiológica. Algunos de los documentos que caracterizan la actividad del físico médico, como el ya mencionado de la EFOMP [7], se basan en estimaciones de la cantidad de trabajadores ocupacionalmente expuestos, mientras que otros consideran también actividades como la gestión y verificación de instalaciones, la elaboración y actualización de documentos de sistemas internos de protección, la vigilancia y gestión de desechos y otros [6]. Varios de estos sistemas no diferencian el peso del tiempo de trabajo del físico médico en instalaciones que administran terapia de las que no la hacen, con actividades diferenciadas para el personal ocupacionalmente expuesto, los pacientes y los miembros del público.

En un amplio acápite de otras actividades se incluyen las relacionadas con la docencia, formación de personal, actividades administrativas, comisiones, reuniones y otras. Su peso es muy variable y depende fuertemente del tipo de institución (pequeño hospital regional, hospital nacional, hospital universitario, instituto de investigación, etc.). Un reporte conjunto de varias organizaciones en el Reino Unido [20] consideró estos elementos, llegando a proporcionar factores de peso significativo para diferenciar el trabajo en las diferentes instituciones.

Por su parte, la AAPM [18] ofrece recomendaciones para la estimación de los recursos humanos de física en diagnóstico por imágenes, incluyendo tanto medicina nuclear como radiodiagnóstico. Para medicina nuclear, no obstante, este documento no ofrece factores procedimiento-dependientes, sin embargo, los factores equipo-dependientes son muy superiores a los recomendados por EFOMP [7]. Por ejemplo, mientras que por cada cámara SPECT la AAPM recomienda emplear un factor 0.25 para estimar el número de físicos necesarios, la EFOMP recomienda sólo 0.06. Entonces, es de suponer que los factores de la AAPM incluyen la componente procedimiento-dependientes, considerando un número medio elevado de procedimientos (estudios de diagnóstico o terapia con radionúclidos).

Con fines de comparación (véase el cuadro 8) se ha supuesto un servicio de medicina nuclear que cuenta con:

- 3 cámaras SPECT;
- 3 sistemas de análisis computarizado de imágenes;
- 4 sistemas no imaginológicos;
- 5 000 estudios de SPECT por año;
- 200 terapias con radionúclidos.

CUADRO 8. PERSONAL DE FÍSICA MÉDICA PARA UN SERVICIO DE MEDICINA NUCLEAR

Referencia	Personal de física médica		
	Físicos médicos	Personal de apoyo	Total
EFOMP [7]	0.9	1.0	1.9
AAPM [18]	1.5	2.3	3.8

6.1.3. Radiodiagnóstico

En la sección 3.2.2 se estableció que las funciones y responsabilidades del físico médico en un servicio de radiodiagnóstico están relacionadas con el diseño de las instalaciones, la definición de las especificaciones técnicas de los equipos, el establecimiento de procedimientos, el control de calidad de los equipos y la protección radiológica del paciente, entre otras. Sin embargo, hasta hace pocos años no había un reconocimiento de la importancia de la protección radiológica del paciente y por tanto de todos los factores que influyen sobre ella, entre los cuales la necesidad de programas de garantía y control de calidad funcionales y la evaluación de los valores orientativos de dosis.

Esto, unido al requerimiento de Normas Básicas Internacionales de Seguridad [1], en relación con la necesidad de expertos cualificados en física médica en los servicios de radiodiagnóstico, ha tenido como consecuencia una presencia de físicos médicos en departamentos de radiodiagnóstico mucho más limitada que en radioterapia. En general, las funciones del físico médico en esta área se combinan con las del Oficial de Protección Radiológica del servicio o institución.

Sin embargo, el impulso que el OIEA, la OMS y la OPS, han dado al tema de la protección radiológica del paciente y la complejidad, variedad y costos de la tecnología disponible actualmente en esos servicios, han llevado a una vinculación cada vez más frecuente de físicos médicos cualificados con formación específica en física del diagnóstico por imágenes.

La EFOMP [7] ofrece recomendaciones para la estimación de las necesidades de personal de física médica en radiodiagnóstico. Se destaca que todos los departamentos que emplean equipos complejos, o realizan procedimientos radiológicos complejos, deben contar con los servicios de al menos un físico médico con experiencia certificada en física del radiodiagnóstico. El número de físicos médicos requeridos en estos departamentos dependerá del programa de garantía de calidad implementado, y del nivel de participación en dicho programa de los técnicos radiólogos e ingenieros de mantenimiento. Este documento no hace recomendaciones respecto a las necesidades de físicos médicos en el diagnóstico por imágenes con equipos emisores de radiación no ionizante (RM, US) y la tabla de ese informe con indicadores para la estimación de necesidades sólo dispone de 2 componentes:

- Estaciones radiográficas y/o intensificadores de imágenes, para lo cual el índice es 0.01 físico por equipo;
- Procesadores de películas, con un índice de 0.01 físico por equipo.

De acuerdo con estos indicadores, un hospital con 37 equipos de radiografías y/o intensificadores de imágenes y 12 procesadores de películas requeriría de 0.5 físico médico, es decir, un físico médico contratado 50% del tiempo, o con el resto del tiempo dedicado a otra área, generalmente radioprotección.

En el documento de la SEFM [6] se ofrecen cifras estimadas sobre el número de horas/año para la realización de las tareas específicas de esta área.

La AAPM [18] ofrece en sus recomendaciones para diagnóstico por imágenes factores más detallados que los otros documentos analizados para los equipos emisores de radiaciones ionizantes, e incluye los equipos de diagnóstico por imágenes que usan ultrasonido y resonancia magnética.

6.1.4. Protección y seguridad radiológica

En cada una de las prácticas médicas con radiaciones ionizantes, los físicos médicos cubren los aspectos relativos a la protección radiológica del paciente, como ya se explicó en la sección 3. Adicionalmente, en algunos hospitales el físico médico clínico puede ocuparse también de la protección y seguridad radiológica de la instalación. En hospitales grandes con servicios de radioterapia, medicina nuclear y radiodiagnóstico, generalmente las funciones de Oficial de Protección Radiológica se asignan a un físico médico con dedicación de tiempo completo. Esta sección revisa las recomendaciones para el cálculo de las necesidades del personal de física médica que se ocupa de los aspectos operacionales de la protección radiológica (excluyendo los relativos a la protección radiológica del paciente).

La EFOMP [7] determina los requerimientos mínimos de físicos médicos en el área de protección radiológica empleando un único criterio basado en la cantidad de personal bajo supervisión radiológica. De acuerdo con esto, un hospital con 260 trabajadores bajo supervisión radiológica requiere un físico médico dedicado parcialmente (40%) a la protección radiológica, con una persona de apoyo (técnico o tecnólogo en protección radiológica) dedicado el resto del tiempo (60%).

La SEFM [6] propone indicadores aplicables a los físicos médicos del diagnóstico por imágenes para estimar la carga de trabajo en el área de protección radiológica.

6.2. Recomendaciones para América Latina

6.2.1. Radioterapia

Los índices comentados en la sección 6.1.1 para calcular la cantidad de personal de física médica necesario en un servicio de radioterapia son aplicables fundamentalmente en países industrializados, y un cálculo realista que tenga en cuenta las condiciones de nuestros países requiere ajustarlos. Como ejemplo podemos decir que un aspecto que diferencia a nuestros países de los más desarrollados es una mayor cantidad de casos para tratamiento paliativo, con protocolos terapéuticos más simples, lo que reduce el tiempo de dedicación del físico médico a la planeación del tratamiento.

Por otra parte, y tal como ya se comentó, la formación del personal de física médica en América Latina es todavía muy dispar, muchas veces empírica. Esto tiene varias consecuencias a la hora de estimar el personal mínimo requerido. Por una parte, algunos físicos médicos sólo están capacitados para realizar las funciones correspondientes a un dosimetrista, y por otra, se crea la impresión de que la labor de los físicos es simple y rutinaria, dejando poco espacio a actividades innovadoras, a la investigación y al desarrollo.

Por esta razón, se ha considerado importante en este documento incluir explícitamente la figura del dosimetrista (véase la sección 3.1) ya que, aunque en muchos de nuestros países esta profesión no está aún definida, debemos estimular su introducción para poder delegar en este profesional algunas de las tareas más rutinarias.

Para determinar los requisitos mínimos de personal de física médica en radioterapia para América Latina se recomienda emplear el cuadro C-1.1 del apéndice C-1. Empleando este cuadro para calcular las necesidades de físicos y dosimetristas de los ejemplos de la sección 6.1.1, se obtienen los valores que se muestran en el cuadro 9.

CUADRO 9. PERSONAL DE FÍSICA MÉDICA EN RADIOTERAPIA

Servicio de radioterapia (definiciones en 6.1.1)	Personal de física médica		
	Físicos médicos	Personal de apoyo (dosimetristas)	Total
Avanzado	4.6	5.2	9.8
Básico	2.1	2.4	4.5
Avanzado (en ausencia de dosimetristas)	7.5	—	7.5
Básico (en ausencia de dosimetristas)	3.4	—	3.4

Se observa que los resultados para el servicio avanzado son consistentes con las recomendaciones del STI/PUB/1296 [14], pero para el básico es posible disponer de un número inferior de físicos médicos.

En las instituciones donde no exista la figura del dosimetrista, al calcular los requerimientos de personal para física médica, la cantidad resultante de físicos médicos deberá incrementarse para poder cubrir la carga total de trabajo. Para ello, los coeficientes para el cálculo del número de físicos médicos (véase el cuadro C-1.1) deben incrementarse en aproximadamente 50% de los coeficientes para dosimetristas. A manera de ejemplo, en las dos últimas filas del cuadro 9 se muestran los resultados que se obtendrían en estos casos.

Los resultados obtenidos del empleo de este cuadro deben servir como orientación a los administradores de las instituciones para planificar la contratación de los recursos humanos requeridos en el área de física médica.

6.2.2. Diagnóstico por imágenes

De modo general, se puede afirmar que la complejidad de la mayor parte de las instalaciones de diagnóstico por imágenes en América Latina es relativamente más baja que en muchos países desarrollados. En la actualidad se realizan estudios de PET en 26 instalaciones ubicadas en 7 países de la región. Otros estudios de relativa complejidad, como el SPECT gatillado, se realizan igualmente en pocos centros de la región. Los estudios estáticos (fundamentalmente óseos) todavía forman un gran volumen de la actividad de estos departamentos. Si los programas que contemplan la formación de físicos médicos en medicina nuclear son muy escasos en la región, aún son menos los de formación de personal auxiliar, por lo que la posibilidad de tener personal entrenado en quien el físico pueda delegar funciones es muy limitada. La situación en radiodiagnóstico es aun más deprimida, existiendo muy pocos servicios que dispongan de físicos médicos. No todos los países de América Latina tienen exigencias en su sistema regulador, como la obligatoriedad de sistemas de garantía o de control de la calidad en los servicios de diagnóstico por imágenes, por lo que no existen herramientas legales que obliguen a la contratación de físicos médicos cualificados para estas actividades.

Sin embargo, la introducción gradual de nuevas tecnologías en la región está obligando a revalorar el papel que debe jugar el físico médico y, en particular, el vínculo cada vez mayor de los medios de diagnóstico por imágenes con los sistemas de planeamiento para radioterapia está siendo un elemento de ayuda al desarrollo del físico médico en estas aplicaciones.

En el cuadro C-2.1 del apéndice C-2 se ofrecen algunos indicadores de referencia para el empleo de fracciones de tiempo efectivo de trabajo del físico médico y del personal técnico auxiliar. Los resultados que se obtienen del empleo de este cuadro deben servir como orientación a los administradores de las instituciones para planificar la contratación de los recursos humanos requeridos en esta área.

Una estimación en función del tiempo global de trabajo estimado a partir de diferentes recomendaciones de organizaciones internacionales se presenta en el cuadro C-2.1.

APÉNDICE A-1: CONTENIDOS DE UN PROGRAMA DE FORMACIÓN ACADÉMICA DE POSTGRADO EN FÍSICA MÉDICA EN EL ÁREA DE FÍSICA DE LA RADIOTERAPIA

A-1.1. Temas generales

Anatomía y fisiología

- Nomenclatura anatómica;
- Estructura general del cuerpo humano;
- Funciones celulares, crecimiento, diferenciación tisular, metabolismo;
- Sistemas locomotor, cardiovascular, respiratorio, digestivo, reproductivo, endocrino y nervioso;
- Anatomía radiológica;
- Introducción a la patología, causas de enfermedades y trauma;
- Ética médica.

Radiobiología

- Interacciones de la radiación ionizante con la materia;
- Daño de la radiación al ADN;
- Reparación del daño al ADN;
- Daño y reparación del daño a cromosomas;
- Teorías de curvas de supervivencia, teoría del blanco, modelo de blanco múltiple, modelo lineal-cuadrático, sensibilidad celular;
- Muerte celular: apoptosis y muerte reproductiva;
- Proceso de recuperación celular;
- Ciclo celular;
- Modificadores de la respuesta celular: sensibilizadores y protectores;
- RBE, OER y LET;
- Cinética celular;
- Daño de la radiación a tejidos;
- Efectos tempranos y tardíos de la radiación;
- Radiobiología tumoral;
- Tiempo, dosis y fraccionamiento;
- Efectos genéticos de la radiación: efecto en la fertilidad y mutagénesis;
- Mecanismos moleculares.

Física de las radiaciones y dosimetría

- Estructura atómica y nuclear. Definiciones básicas, modelo de Bohr del átomo, modelo de Rutherford del núcleo, estructura nuclear, radiactividad, modos de decaimiento radiactivo.
- Las radiaciones ionizantes. Cantidades y unidades básicas usadas en física de radiaciones, tipos y fuentes de radiación directa e indirectamente ionizante, descripción de campos de radiación ionizante, fluencia y tasa de fluencia, fluencia de energía y tasa de fluencia de energía.
- Cantidades y unidades que describen la interacción de radiación ionizante con materia: kerma, dosis absorbida, actividad, energía transferida, energía impartida, dosis equivalente y factor de calidad, exposición.

- Radiación indirectamente ionizante: haces de fotones. Producción de radiación de frenado, blancos de rayos X, radiación característica, calidad del haz y filtrado, atenuación exponencial, coeficientes de atenuación, sección eficaz de interacción, capa hemirreductora, atenuación de haz angosto vs. atenuación de haz ancho, endurecimiento y ablandamiento del haz, coeficiente de transferencia de energía, coeficiente de absorción de energía, cálculo de dosis para interacciones de haces de fotones.
- Interacción de fotones con materia. Dispersión de Thomson y Rayleigh, efecto fotoeléctrico, dispersión de Compton y producción de pares, reacciones fotonucleares, efectos que siguen a las interacciones: efecto Auger y fluorescencia, contribución de los efectos a los coeficientes de atenuación, transferencia de energía y absorción de energía.
- Interacción de haces de neutrones con materia. Clasificación de los neutrones según su energía cinética, fuentes de neutrones, especificaciones de un haz de neutrones, depósito de energía en tejido, interacciones con los elementos del tejido, cálculos de kerma y de dosis absorbida, dosimetría en un campo mixto gamma/neutrón, factor de calidad para neutrones.
- Radiación directamente ionizante. Haces de partículas cargadas usadas en medicina, fuentes de haces de partículas cargadas, depósito en tejido por haces de partículas cargadas.
- Interacción de radiación directamente ionizante con materia. Poder de frenado (de colisiones y radiativo), formalismo de Bethe Bloch para dispersión de Coulomb, efectos de capas, polarización, procesos nucleares, parametrización de Anderson–Ziegler, efectos de muestras y compuestos, alcance, straggling, poder de frenado restringido, transferencia lineal de energía, cálculo de dosis absorbida para interacciones de partículas cargadas.
- Decaimiento radiactivo. Constante de decaimiento total y parcial, unidades de actividad, vida media y vida promedio, relaciones padre-hija, equilibrio transitorio y secular, cosecha de productos radiactivos, radioactivación por interacciones nucleares, constante de tasa de exposición y constante de tasa de kerma en aire.
- Equilibrio de partícula cargada y equilibrio de radiación. Equilibrio de radiación, equilibrio de partícula cargada (EPC), relaciones entre dosis absorbida, kerma de colisiones y exposición bajo EPC, EPC transitorio.
- Teoría de cavidad. Teoría de cavidad de Bragg–Gray y corolarios, teorías de cavidad de Spencer–Attix y de Burlin, teorema de Fano, promedio de poderes de frenado, dosis en interfases.
- Cámaras de ionización. Características básicas de una cámara, cámara de ionización estándar, en aire libre, cámara de ionización de cavidad (dedal), cámara de extrapolación, medidas diferenciales e integrales (carga) de la corriente, saturación, recombinación y pérdida por difusión.
- Calibración de haces de fotones y electrones con cámaras de ionización. Calibración de las cámaras: kerma en aire y dosis en agua, protocolos dosimétricos: AAPM TG-51 e IAEA TRS-398, maniqués para haces de fotones y electrones.
- Dosimetría con dosímetros relativos. Tipos de dosímetros y sus características, definiciones de cantidades y unidades dosimétricas según el ICRU, técnicas dosimétricas absolutas y relativas, interpretación de las lecturas de un dosímetro, calorímetros: principios y técnicas, dosímetros químicos (Fricke): principios, valor G y técnicas, dosimetría termoluminiscente, dosimetría con películas, diodos, luminiscencia óptimamente estimulada, dosímetros de gel.
- Dosimetría con detectores de modo pulsado. Contadores Geiger–Müller y contadores proporcionales, dosimetría con centelladores, medidores portátiles de radiación ambiental, detectores de neutrones.

Protección radiológica

- Principios de seguridad radiológica. Antecedentes históricos, efectos observados, prácticas de protección sugeridas.
- Física de las radiaciones aplicada a la seguridad radiológica. Radiación directa e indirectamente ionizante, poder de frenado, interacciones de fotones con materia, interacciones de neutrones con materia.
- Dosimetría operacional. Unidades, kerma, dosis absorbida, dosis equivalente, factores de calidad.
- Instrumentación para la detección de la radiación. Cámaras de ionización, contadores proporcionales y contadores Geiger–Müller, centelladores y TLD, instrumentación de dosis equivalente.
- Blindajes: diseño y propiedades. Partículas directamente ionizantes, partículas indirectamente ionizantes, parametrización de la acumulación, muestreo estocástico, técnicas de Monte Carlo, aceleradores de partículas (blindaje primario, blindaje secundario y terciario, dependencia con el tipo y energía de la partícula, control de accesos, recomendaciones y técnicas del NCRP para blindajes).
- Estadística de conteo. Interpretación estadística de la respuesta de un instrumento, diseño de experimentos, análisis de errores estocásticos y no-estocásticos, interpretación de resultados experimentales.
- Vigilancia radiológica del personal. Instrumentación y técnicas, instrumentos integradores y activos, rango dinámico, películas, TLD, CR-39, cámaras de bolsillo y contadores Geiger–Müller.
- Exposición interna. Dosimetría MIRD, vigilancia y control, ensayos biológicos, dispersión de la radiación en el ambiente de trabajo, límites de incorporación y concentraciones derivadas en aire o agua.
- Dispersión de radionúclidos en el ambiente. Liberación de radionúclidos en el ambiente, consecuencias dosimétricas, modelos para la dispersión en aire o en agua.
- Efectos biológicos. Radiobiología básica, respuestas estocásticas y deterministas, bases de datos experimentales para el daño biológico, reportes BEIR y UNSCEAR.
- Legislación y reglamentación. Recomendaciones internacionales del ICRP, reglamentos nacionales de protección radiológica, normatividad local, formatos para solicitud de licencias y entrega de reportes.
- Investigación de accidentes radiológicos. Revisión de accidentes radiológicos en radioterapia, lecciones aprendidas, procedimientos para investigar las causas, efectos, estimación de las dosis recibidas y los posibles efectos asociados.
- Manejo de desechos de alto/bajo nivel. Depósitos de desechos radiactivos, normatividad nacional, impacto ambiental futuro.
- Radiaciones no ionizantes, incluyendo electromagnéticas y ultrasonido. Riesgos para la salud, técnicas de medición, control regulatorio.

Tópicos especiales

- Habilidades en computación. Hojas de cálculo, bases de datos, paquetes gráficos y de modelación científica (por ejemplo: MatLab, Mathematica), lenguaje de computación de alto nivel (por ejemplo: Fortran, C), editores de alto nivel, procesadores de palabras, paqueterías para presentaciones, sistemas operativos (por ejemplo: UNIX, Windows), buscadores bibliográficos (por ejemplo: PubMed), paquetes estadísticos, redes de computadoras y sistemas de comunicación médica, infraestructura, redes locales (LAN) y anchas (WAN), conceptos básicos de DICOM y PACS.

- Métodos estadísticos en las ciencias médicas. Estadística descriptiva, probabilidad, modelos de inferencia estadística y estimación, diseño experimental para la prueba de hipótesis y parámetros de estimación, diseño de estudios clínicos, modelos de regresión, análisis de variables múltiples.
- Seguridad. Seguridad eléctrica, química, biológica, radiológica, legislación nacional y recomendaciones internacionales para seguridad, principios de gerencia de calidad aplicados a sistemas médicos.
- Aspectos profesionales. Estructuras gerenciales en hospitales, relaciones entre servicios asistenciales y técnicos, manejo de datos de pacientes, registros, resultados de mediciones, reportes, derechos del paciente, mantenimiento de archivos, falsificación de datos, normas de trabajo en grupos interdisciplinarios, autorías, derechos de autor, revisión por pares, confidencialidad, conflictos de interés, plagio, interacción con otros profesionales (médicos, tecnólogos, ingenieros biomédicos, enfermeras, informáticos, etc.), trato con otros colegas, competencia por un empleo, conflictos de interés, comunicación oral, investigación con sujetos humanos, consentimiento informado, distribución de resultados, conflictos de interés.

A-1.2. Temas específicos

Física de la radioterapia

- Radioterapia oncológica. Incidencia del cáncer, etiología, clasificaciones, estadio, modalidad de tratamientos (cirugía, quimioterapia, radioterapia), teleterapia, braquiterapia, terapia con neutrones, protones e iones ligeros, hipertermia, papel del físico médico clínico, organizaciones nacionales e internacionales de física médica y radioterapia.
- Bases radiobiológicas de la radioterapia. Control del tumor y tolerancia del tejido sano (cociente terapéutico), reparación, fraccionamiento, tolerancia de órganos específicos, aspectos matemáticos de las curvas de sobrevida.
- Haces clínicos de fotones para radiación externa: descripción. Descripción de los haces, tamaño de campo, distancias fuente-piel, distancia fuente-isocentro, distancia fuente-colimador, formas del campo, tipos de colimador, error del temporizador (para Co-60).
- Haces clínicos de fotones para radiación externa: cálculos puntuales de dosis. PDD, PSF, TAR, TMR, TPR, SAR, SMR, factor del colimador, factor del maniquí, factor de salida, OAR, sistemas de cálculo de dosis (SSD y SAD), cálculo de tiempo de irradiación y de unidades monitor.
- Haces clínicos de fotones para radiación externa: dosimetría clínica básica. Factores que afectan las cantidades dosimétricas, relaciones entre las cantidades dosimétricas, factores del colimador y de dispersión en maniquí, campos irregulares y método de Clarkson.
- Haces clínicos de electrones para radiación externa. Producción del haz de electrones, selección de la energía, métodos para ensanchar el haz, métodos de colimación, distribución de dosis en profundidad, variación con energía y tamaño de campo, espectro de energía, especificación en superficie y en profundidad, distribución de la dosis, determinación de unidades monitor, efecto de brechas de aire, fuente efectiva y fuente virtual, equilibrio lateral.
- Braquiterapia: principios físicos. Radionúclidos usados en braquiterapia, tipos de fuentes, dosimetría para fuentes selladas, calibración de la fuente, garantía de la calidad, dosimetría, formalismo del documento TG-43.
- Braquiterapia: aspectos clínicos. Técnicas intersticiales, intracavitarias y superficiales, sistema de carga directa y carga diferida, sistemas de Paris y Manchester para terapia

- intersticial, implantes de semillas, implantes prostáticos guiados por ultrasonido, terapia ginecológica intracavitaria, prescripciones clínicas e histogramas dosis-volumen, modelos radiobiológicos.
- Planeación de tratamientos: definición de volúmenes blancos y prescripción de la dosis. Especificaciones de dosis y volúmenes, márgenes, recomendaciones internacionales (ICRU 50, 62) GTV, CTV, PTV, etc.
 - Sistemas de planeación de tratamientos (SPT): haces de fotones. Distribución de dosis para campo único, parámetros que afectan las curvas y las superficies de isodosis, combinación de campos, campos con cuñas, correcciones por DFS, tejido faltante e inhomogeneidades, especificación de la dosis, adquisición de datos para los SPT, herramientas de cómputo, algoritmos comunes (convolución, superposición, haces de lápiz), SPT para planos únicos, SPT para planos múltiples, SPT con colimadores asimétricos, con cuñas dinámicas y con colimadores multihoja, SPT en 3D, SPT con técnicas Monte Carlo, garantía de calidad del SPT.
 - Sistemas de planeación de tratamientos: aplicaciones en pacientes. Contornos, datos del paciente a partir de imágenes planas, imágenes tomográficas, ultrasonido, SPECT, MRI y PET, técnicas de simulación convencionales, colocación/inmovilización del paciente, uso de contraste, marcadores, bloques, compensadores, imágenes portales de verificación, simulación con CT, consideración de dosis en piel, empalme de campos, dosis integral, histogramas dosis-volumen.
 - Planeación de tratamientos: haces de electrones. Efectos de la geometría del paciente y del haz, algoritmos para calcular la dosis (analíticos y Monte Carlo), garantía de calidad del SPT, técnicas de planeación de tratamientos (selección de energía y tamaño de campo, bolos, colimadores), técnicas de coincidencia de bordes de campo, haces mixtos fotones/electrones.
 - Planeación de tratamientos: técnicas especiales con haces de electrones. Irradiación de cuerpo total, irradiación total de una extremidad, terapia en arco, terapia intraoperatoria, irradiación total del cráneo, terapia conformada.
 - Instrumentos para la radioterapia: máquinas generadoras de radiación. Fuentes radiactivas (Co-60 y Cs-137), aceleradores estáticos, aceleradores cíclicos.
 - Instrumentos para la radioterapia: Linacs. Diseño básico y componentes, producción de haces clínicos de fotones, producción de haces clínicos de electrones, sistema de vigilancia de la dosis, colimación del haz.
 - Instrumentos para la radioterapia: adquisición de la máquina. Documentos con especificaciones, diseño del cuarto de tratamiento, documentos de negociación, instalación de la máquina, pruebas de aceptación, puesta en marcha de la máquina. Instrumentos para la radioterapia: máquinas generadoras de radiación.
 - Control de calidad (CC) y garantía de la calidad (GC) en tratamientos de radioterapia. Análisis de errores para el proceso completo, origen de los estándares de CC y GC en radioterapia, organización de un programa de GC (personal, equipo, trazabilidad y redundancia), administración de la dosis (documentos requeridos, técnicas de verificación, sistemas de registros y verificación, dosimetría in vivo), normas específicas de GC para fuentes radiactivas, linacs, fuentes de braquiterapia, sistemas de corte de bloques, sistemas de planeación de tratamiento, colimadores multihoja, radioterapia de intensidad modulada y cuñas dinámicas.
 - Maniqués. Materiales tejido-equivalentes para haces de fotones y electrones, maniqués de calibración, maniqués antropomórficos.
 - Técnicas especiales en radioterapia. Características, desarrollo histórico, garantía de la calidad y uso terapéutico de las siguientes técnicas especiales: irradiación de cuerpo total, radiocirugía estereotáxica, radioterapia estereotáxica, irradiación endorrectal,

- terapia en arco con electrones, radioterapia intraoperatoria, hipertermia, hiperfraccionamiento.
- Radioterapia de intensidad modulada (IMRT). Sistemas de impartición de la dosis: colimadores de rebanada única, colimadores multihojas y tomoterapia, técnicas de administración de la dosis: step & shoot, ventana deslizante e IMRT dinámica.
 - Radioterapia con partículas cargadas pesadas. Justificación física (pico de Bragg y LET), justificación biológica (LET, hipoxia/OER, RBE).
 - Radioterapia con neutrones. Producción de neutrones, interacciones en tejido, dosis en profundidad y dosimetría, instalaciones y laboratorios, terapia por captura de neutrones en boro (BNCT).
 - Radioterapia con protones. Producción de protones, interacciones en tejido, dosis en profundidad y dosimetría, forma del haz, instalaciones y laboratorios.
 - Radioterapia con partículas cargadas pesadas (helio, carbono, y otros). Producción de los haces, interacciones en tejido, dosis en profundidad y dosimetría, forma del haz, instalaciones y laboratorios.
 - Terapia con fuentes abiertas. Procedimientos, dosimetría interna, dosimetría clínica y dosis típicas.
 - Protección radiológica en radioterapia: normas de seguridad en la operación. Instituciones locales y requisitos de regulación, técnicas de medición y equipos asociados, vigilancia radiológica del personal, fuentes de radiación externa, fuentes de braquiterapia, fuentes abiertas.
 - Protección radiológica en radioterapia: blindaje estructural de las instalaciones. Definición de carga de trabajo, factor de ocupación, factor de uso, barreras primarias para radiación dispersa y para fugas, diseño de blindaje estructural para instalaciones con simulador convencional y CT, para cuartos de terapia superficial y de ortovoltaje, para instalaciones de braquiterapia a baja y alta tasa de dosis, para instalaciones con Co-60 y linacs, para instalaciones de alta energía con consideración de los neutrones, para instalaciones de radioterapia intraoperatoria, para instalaciones de terapia con fuentes abiertas.

Laboratorio de física de la radioterapia

- Visión general de la oncología con radiaciones. Asistencia a conferencias y reuniones multidisciplinarias en el tema.
- Determinación de dosis absorbida. Calibración del haz de fotones de un linac, usando TG-51 o TRS-398, calibración de un irradiador de Co-60 en técnica SSD e isocéntrica, calibración del haz de electrones de un linac, usando TG-51 o TRS-398, realizar medidas clínicas con TLD-100, usar dosimetría de película para medir curva de dosis en profundidad y aplanado de un haz de electrones.
- Descriptores básicos de un campo de fotones. Definición de GTV, CTV, PTV, medición directa de PDD y TMR, cálculo de TMR de PDD y comparación con las medidas, cálculo de tiempos de tratamiento, medición de tasa de dosis de referencia del linac, cálculo de SAR, cálculo de 3 casos de campos irregulares (manualmente y con computadora), cálculo de TMR promedio para un haz rotativo (manualmente y con computadora).
- Haces de fotones: modelos de dosis para haces externos e IMRT.
- Haces de fotones: aplicación a pacientes para haces externos e IMRT.
- Haces de electrones. Participar en labores de simulación, corte de bloques, planeación de tratamientos, administración de la dosis y seguimiento de los pacientes.

- Braquiterapia. Cálculos a mano y por computadora para implantes en cáncer cérvico uterino, LDR y HDR.
- Protección radiológica. Calcular el blindaje para un cuarto de linac.
- Control y garantía de calidad. Realizar pruebas rutinarias en todas las máquinas, cortadores de bloques, etc. realizar una serie anual completa de pruebas en cada tipo de haz (Co-60, linac fotones, linac electrones, ortovoltaje, simulador).

APÉNDICE A-2: CONTENIDOS DE UN PROGRAMA DE FORMACIÓN ACADÉMICA DE POSTGRADO EN FÍSICA MÉDICA EN EL ÁREA DE FÍSICA DEL DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES

A-2.1. Temas generales

Anatomía y fisiología

- Nomenclatura anatómica;
- Estructura general del cuerpo humano;
- Funciones celulares, crecimiento, diferenciación tisular, metabolismo;
- Sistemas locomotor, cardiovascular, respiratorio, digestivo, reproductivo, endocrino y nervioso;
- Anatomía radiológica;
- Introducción a la patología, causas de enfermedades y trauma;
- Ética médica.

Radiobiología

- Interacciones de la radiación ionizante con la materia;
- Daño de la radiación al ADN;
- Reparación del daño al ADN;
- Daño y reparación del daño a cromosomas;
- Teorías de curvas de supervivencia, teoría del blanco, modelo de blanco múltiple, modelo lineal-cuadrático, sensibilidad celular;
- Muerte celular: apoptosis y muerte reproductiva;
- Proceso de recuperación celular;
- Ciclo celular;
- Modificadores de la respuesta celular: sensibilizadores y protectores;
- RBE, OER y LET;
- Cinética celular;
- Daño de la radiación a tejidos;
- Efectos tempranos y tardíos de la radiación;
- Radiobiología tumoral;
- Tiempo, dosis y fraccionamiento;
- Efectos genéticos de la radiación: efecto en la fertilidad y mutagénesis;
- Mecanismos moleculares.

Física de las radiaciones y dosimetría

- Estructura atómica y nuclear. Definiciones básicas, modelo de Bohr del átomo, modelo de Rutherford del núcleo, estructura nuclear, radiactividad, modos de decaimiento radiactivo.
- Las radiaciones ionizantes. Cantidades y unidades básicas usadas en física de radiaciones, tipos y fuentes de radiación directa e indirectamente ionizante, descripción de campos de radiación ionizante, fluencia y tasa de fluencia, fluencia de energía y tasa de fluencia de energía.

- Cantidades y unidades que describen la interacción de radiación ionizante con materia kerma, dosis absorbida, actividad, energía transferida, energía impartida, dosis equivalente y factor de calidad, exposición.
- Radiación indirectamente ionizante: haces de fotones. Producción de radiación de frenado, blancos de rayos X, radiación característica, calidad del haz y filtrado, atenuación exponencial, coeficientes de atenuación, sección eficaz de interacción, capa hemirreductora, atenuación de haz angosto vs. atenuación de haz ancho, endurecimiento y ablandamiento del haz, coeficiente de transferencia de energía, coeficiente de absorción de energía, cálculo de dosis para interacciones de haces de fotones.
- Interacción de fotones con materia. Dispersión de Thomson y Rayleigh, efecto fotoeléctrico, dispersión de Compton y producción de pares, reacciones fotonucleares, efectos que siguen a las interacciones: efecto Auger y fluorescencia, contribución de los efectos a los coeficientes de atenuación, transferencia de energía y absorción de energía.
- Interacción de haces de neutrones con materia. Clasificación de los neutrones según su energía cinética, fuentes de neutrones, especificaciones de un haz de neutrones, depósito de energía en tejido, interacciones con los elementos del tejido, cálculos de kerma y de dosis absorbida, dosimetría en un campo mixto gamma/neutrón, factor de calidad para neutrones.
- Radiación directamente ionizante. Haces de partículas cargadas usadas en medicina, fuentes de haces de partículas cargadas, depósito en tejido por haces de partículas cargadas.
- Interacción de radiación directamente ionizante con materia. Poder de frenado (de colisiones y radiativo), formalismo de Bethe Bloch para dispersión de Coulomb, efectos de capas, polarización, procesos nucleares, parametrización de Anderson–Ziegler, efectos de muestras y compuestos, alcance, straggling, poder de frenado restringido, transferencia lineal de energía, cálculo de dosis absorbida para interacciones de partículas cargadas.
- Decaimiento radiactivo. Constante de decaimiento total y parcial, unidades de actividad, vida media y vida promedio, relaciones padre-hija, equilibrio transitorio y secular, cosecha de productos radiactivos, radioactivación por interacciones nucleares, constante de tasa de exposición y constante de tasa de kerma en aire.
- Equilibrio de partícula cargada y equilibrio de radiación. Equilibrio de radiación, equilibrio de partícula cargada (EPC), relaciones entre dosis absorbida, kerma de colisiones y exposición bajo EPC, EPC transitorio.
- Teoría de cavidad. Teoría de cavidad de Bragg–Gray y corolarios, teorías de cavidad de Spencer–Attix y de Burlin, teorema de Fano, promedio de poderes de frenado, dosis en interfases.
- Cámaras de ionización. Características básicas de una cámara, cámara de ionización estándar, en aire libre, cámara de ionización de cavidad (dedal), cámara de extrapolación, medidas diferenciales e integrales (carga) de la corriente, saturación, recombinación y pérdida por difusión.
- Calibración de haces de fotones y electrones con cámaras de ionización. Calibración de las cámaras: kerma en aire y dosis en agua, protocolos dosimétricos: AAPM TG-51 e IAEA TRS-398, maniqués para haces de fotones y electrones.
- Dosimetría con dosímetros relativos. Tipos de dosímetros y sus características, definiciones de cantidades y unidades dosimétricas según el ICRU, técnicas dosimétricas absolutas y relativas, interpretación de las lecturas de un dosímetro, calorímetros: principios y técnicas, dosímetros químicos (Fricke): principios, valor G y técnicas, dosimetría termoluminiscente, dosimetría con películas, diodos, luminiscencia óptimamente estimulada, dosímetros de gel.

- Dosimetría con detectores de modo pulsado. Contadores Geiger–Müller y contadores proporcionales, dosimetría con centelladores, medidores portátiles de radiación ambiental, detectores de neutrones.

Protección radiológica

- Principios de seguridad radiológica. Antecedentes históricos, efectos observados, prácticas de protección sugeridas.
- Física de las radiaciones aplicada a la seguridad radiológica. Radiación directa e indirectamente ionizante, poder de frenado, interacciones de fotones con materia, interacciones de neutrones con materia.
- Dosimetría operacional. Unidades, kerma, dosis absorbida, dosis equivalente, factores de calidad.
- Instrumentación para la detección de la radiación. Cámaras de ionización, contadores proporcionales y contadores Geiger–Müller, centelladores y TLD, instrumentación de dosis equivalente.
- Blindajes: diseño y propiedades. Partículas directamente ionizantes, partículas indirectamente ionizantes, parametrización de la acumulación, muestreo estocástico, técnicas de Monte Carlo, aceleradores de partículas (blindaje primario, blindaje secundario y terciario, dependencia con el tipo y energía de la partícula, control de accesos, recomendaciones y técnicas del NCRP para blindajes).
- Estadística de conteo. Interpretación estadística de la respuesta de un instrumento, diseño de experimentos, análisis de errores estocásticos y no-estocásticos, interpretación de resultados experimentales.
- Vigilancia radiológica del personal. Instrumentación y técnicas, instrumentos integradores y activos, rango dinámico, películas, TLD, CR-39, cámaras de bolsillo y contadores Geiger–Müller.
- Exposición interna. Dosimetría MIRD, vigilancia y control, ensayos biológicos, dispersión de la radiación en el ambiente de trabajo, límites de incorporación y concentraciones derivadas en aire o agua.
- Dispersión de radionúclidos en el ambiente. Liberación de radionúclidos en el ambiente, consecuencias dosimétricas, modelos para la dispersión en aire o en agua.
- Efectos biológicos. Radiobiología básica, respuestas estocásticas y deterministas, bases de datos experimentales para el daño biológico, reportes BEIR y UNSCEAR.
- Legislación y reglamentación. Recomendaciones internacionales del ICRP, reglamentos nacionales de protección radiológica, normatividad local, formatos para solicitud de licencias y entrega de reportes.
- Investigación de accidentes radiológicos. Revisión de accidentes radiológicos en medicina nuclear y radiodiagnóstico, lecciones aprendidas, procedimientos para investigar las causas, efectos, estimación de las dosis recibidas y los posibles efectos asociados.
- Manejo de desechos de alto/bajo nivel. Depósitos de desechos radiactivos, normatividad nacional, impacto ambiental futuro.
- Radiaciones no ionizantes, incluyendo electromagnéticas y ultrasonido. Riesgos para la salud, técnicas de medición, control regulatorio.

Tópicos especiales

- Habilidades en computación. Hojas de cálculo, bases de datos, paquetes gráficos y de modelación científica (por ejemplo: MatLab, Mathematica), lenguaje de computación

- de alto nivel (por ejemplo: Fortran, C), editores de alto nivel, procesadores de palabras, paqueterías para presentaciones, sistemas operativos (por ejemplo: UNIX, Windows), buscadores bibliográficos (por ejemplo: PubMed), paquetes estadísticos, redes de computadoras y sistemas de comunicación médica, infraestructura, redes locales (LAN) y anchas (WAN), conceptos básicos de DICOM y PACS.
- Métodos estadísticos en las ciencias médicas. Estadística descriptiva, probabilidad, modelos de inferencia estadística y estimación, diseño experimental para la prueba de hipótesis y parámetros de estimación, diseño de estudios clínicos, modelos de regresión, análisis de variables múltiples.
 - Seguridad. Seguridad eléctrica, química, biológica, radiológica, legislación nacional y recomendaciones internacionales para seguridad, principios de gerencia de calidad aplicados a sistemas médicos.
 - Aspectos profesionales. Estructuras gerenciales en hospitales, relaciones entre servicios asistenciales y técnicos, manejo de datos de pacientes, registros, resultados de mediciones, reportes, derechos del paciente, mantenimiento de archivos, falsificación de datos, normas de trabajo en grupos interdisciplinarios, autorías, derechos de autor, revisión por pares, confidencialidad, conflictos de interés, plagio, interacción con otros profesionales (médicos, tecnólogos, ingenieros biomédicos, enfermeras, informáticos, etc.), trato con otros colegas, competencia por un empleo, conflictos de interés, comunicación oral, investigación con sujetos humanos, consentimiento informado, distribución de resultados, conflictos de interés.

A-2.2. Temas específicos

Física del diagnóstico por imágenes

- Imágenes planas convencionales. Tubos de rayos X, radiación de frenado, líneas características, eficiencia y rendimiento, características de los tubos (kV, mAs, exposición, calentamiento, mancha focal, ánodo).
- Formación de la imagen y contraste. Tipos de contraste, efectos del kVp, contraste de área.
- Radiación dispersa y contraste. Reducción del contraste, colimación, brecha de aire, rejillas.
- Receptores de imagen. Pantallas, sensibilidad del receptor, nitidez, ruido, artefactos.
- Proceso fotográfico. Propiedades de la película, densidad óptica, procesamiento de la película, sensibilidad, control de calidad del procesamiento.
- Características del contraste de la película. Latitud, tipos de película, efectos del proceso de revelado, niebla.
- Nitidez, resolución y visibilidad del detalle. Función de transferencia de la modulación (MTF).
- Detalle radiográfico. Amplificación, borrosidad por movimiento, mancha focal, y por receptor de imagen.
- Dosis en procedimiento radiográficos.
- Sistemas fluoroscópicos. Tubos intensificadores, sistemas de video, sistema óptico y cámaras, sensibilidad del receptor.
- Ruido en la imagen. Efecto del ruido en la visibilidad, ruido cuántico, sensibilidad del receptor, ruido estructural y granos, ruido electrónico, efecto del ruido en el contraste, efecto de la borrosidad en el ruido, integración de la imagen, resta de imágenes.
- Dosis en procedimientos fluoroscópicos.

- Mamografía. Principios físicos, descripción del mamógrafo, receptores de imagen, dosis, control de calidad.
- Imágenes digitales y tomografía computarizada (CT). Sistemas digitales y procesamiento de las imágenes, receptores digitales y conversión, procesamiento de imágenes, almacenamiento de imágenes, despliegue y análisis de las imágenes.
- Formación de la imagen de CT. El sistema de rayos X, detectores, computador, despliegue, barrido, reconstrucción, haz CT de volumen o de cono.
- Calidad de la imagen de CT. Contraste, resolución de alto y bajo contraste, ruido, artefactos, dosis, garantía de la calidad.
- Técnicas digitales especiales. Fluoroscopia digital, procesado dependiente del tiempo, filtros acoplados, modo de diferencia de tiempo, filtros temporales, procesamiento dependiente de la energía, imágenes con borde-K, resta de imágenes sin borde-K, cociente señal/ruido para resta de imágenes de energía dual, filtrado espacial, técnicas de reducción del ruido para energía dual, técnicas de compensación de imágenes.
- Imágenes de medicina nuclear. La cámara gamma, colimadores, cristales, arreglo de tubos fotomultiplicadores, espectrometría, el analizador multicanal.
- Calidad de la imagen en medicina nuclear. Contraste, borrosidad y visibilidad del detalle, ruido, uniformidad, aplicaciones clínicas.
- Técnicas de imagen tomográfica en medicina nuclear. Tomografía por emisión de positrones (PET) y PET/CT (principios, imágenes clínicas, información cuantitativa), tomografía por emisión de fotón único (SPECT), SPECT/CT (principios, imágenes clínicas, información cuantitativa).
- Estadística y errores de conteo en medicina nuclear.
- Exposición y protección del paciente en medicina nuclear. Dosimetría interna, dosimetría clínica y dosis típicas, dosimetría en la terapia con radionúclidos.
- Exposición y protección del personal en medicina nuclear. Equivalentes de dosis efectivos, límites, fuentes de exposición, blindajes, exposición a la radiación de las fuentes.
- Medidas de la radiación en medicina nuclear. Cámaras de ionización, monitores ambientales, medidores de actividad.
- Radioquímica, radioinmuno-imaginología y radiofarmacia. Principios y técnicas.
- Control de calidad y garantía de calidad en medicina nuclear.
- Imágenes de ultrasonido. Ondas planas de ultrasonido, presión, velocidad, intensidad, notación de decibeles, impedancia acústica, reflexión y transmisión de ondas en interfaces.
- Propagación de ondas de sonido en tejidos. Velocidad del sonido, atenuación y absorción, dispersión, propagación no lineal.
- Transductores simples. Diseño, frecuencia y ancho de banda, patrones de onda, enfoque.
- Arreglos de transductores. Diseño, operación en frecuencias múltiples, forma del haz durante tránsito y detección, apertura dinámica, resolución, grosor de corte.
- Procesamiento de señales en equipos pulsados de ultrasonido. Características, potencia, ganancia, compresión, demodulación, modos A, B, M.
- Doppler continuo y pulsado. Señal Doppler, análisis espectral, Doppler pulsado.
- Imágenes de flujo con ultrasonido. Imágenes de velocidad, imágenes de energía, información en imágenes de flujo, agentes de contraste para sangre.
- Pruebas del desempeño del equipo de ultrasonido. Resolución, profundidad de visualización, artefactos.
- Efectos biológicos y seguridad en ultrasonido. Medidas de salida acústica, efectos biológicos del ultrasonido, niveles de operación segura.

- Imágenes de resonancia magnética (IRM). Principios básicos, núcleos útiles, parámetros que afectan el contraste, el campo estático, frecuencia de Larmor, campo de radiofrecuencia, sistemas de referencia, mecanismo de relajación, secuencia básica espín-eco, codificación espacial usando gradientes magnéticos, espacio-k, la secuencia espín-eco completa.
- Hardware para IRM. El sistema para el campo estático, sistema para la radiofrecuencia, sistema para los gradientes.
- Calidad de la imagen de IRM. Cociente señal a ruido y contraste a ruido, resolución, tiempo de adquisición de las imágenes.
- Secuencias de pulsos en RM. Secuencias espín-eco, gradiente-eco, espín-eco rápida, recuperación invertida, secuencias ultrarrápidas, secuencias para angiografía, secuencias para espectroscopía.
- Artefactos en IRM. Movimiento, aliasing, metales, corrimiento químico, truncado, distorsiones relacionadas con el sistema.
- Seguridad y efectos biológicos en RM. Relativos al campo estático, a la radiofrecuencia, a los gradientes, pacientes embarazadas, personal, agentes de contraste comunes.
- Control de calidad en RM. Estándares del Colegio Estadounidense de Radiología, su manual de control de calidad y sus recomendaciones, otras normas.

Laboratorio de física del diagnóstico por imágenes

- Producción de rayos X y rendimiento del tubo. Mediciones con cámara de ionización, efectos del kVp, mAs, tiempo, filtrado, capa hemirreductora.
- Contraste radiográfico. Densitometría, sensitometría, curvas H&D, procesado.
- Sistemas película/pantalla. Velocidad, resolución, ruido, revelado.
- Reducción de la dispersión. Rejillas, brecha de aires, colimación.
- Control de calidad en radiografías y fluoroscopías. Tamaño de mancha focal, campo de radiación/luz, reproducibilidad, linealidad, dosis, voltajes, fluoroscopías, mamografías, imágenes dentales.
- Sistemas de almacenamiento y despliegue. Sistemas de video, cámaras, discos, medios magnéticos, procesamiento de la imagen, calibración de las imágenes.
- Tomografía computarizada. Grosor del corte, resolución de alto y bajo contraste, perfiles de dosis, medidas de dosis, caracterización helicoidal del eje z, alineación de la luz de posicionamiento, garantía de calidad.
- Generador Mo-Tc para medicina nuclear. Elusión, control de calidad.
- Calibrador de radionúclidos en medicina nuclear. Control de calidad, constancia, linealidad, precisión, pruebas de frote.
- Sistema de conteo por centelleo en medicina nuclear. Características del pulso de salida, determinación del voltaje óptimo de los tubos.
- Espectrometría de rayos gamma (NaI). Calibración de los sistemas, linealidad, control de calidad, conteo de isótopos duales.
- Cámara de centelleo Anger. Control de calidad, uniformidad, resolución, efecto de la ventana del MCA en el contraste y la resolución espacial, tiempo de resolución, resolución espacial de MTF, cuantificación de la uniformidad del campo de flujo.
- SPECT. Control de calidad, centro de rotación, comparación de resoluciones planas y tomográficas, uniformidad de campo, ruido, corrección de atenuación y ruido.
- PET. Control de calidad, medida de conteo simple, ruido y contraste.
- Ultrasonido. Principios, control de calidad, medidas de intensidad y potencia.

- Imágenes de resonancia magnética. Principios, secuencias básicas de pulsos, especificaciones del diseño de los imanes, seguridad, pruebas de aceptación, control de calidad y acreditación.

APÉNDICE B-1: ENTRENAMIENTO CLÍNICO DEL FÍSICO MÉDICO EN TERAPIA CON RADIACIONES: HABILIDADES

Dosimetría

- Utilizar equipos medidores de dosis y entender su potencialidad, limitaciones y problemas.
- Evaluar el uso de diferentes dosímetros en distintas situaciones clínicas.
- Especificar y justificar los equipos requeridos para el servicio de dosimetría del departamento de radioterapia.
- Evaluar las incertidumbres en la medición de dosis.

Principios y aplicaciones de radiobiología

- Uso de modelos radiobiológicos tales como LQ, TCP y NTCP.
- Encontrar qué parámetros son usados para estos modelos por el radioterapeuta.
- Encontrar qué modelos y parámetros son usados en el sistema de planificación de tratamientos del departamento.
- Calcular ejemplos prácticos con el modelo lineal cuadrático.

Radioterapia externa

- Equipos de imágenes y tratamientos:
 - Conocer la construcción y diseño de equipos de tratamiento e imágenes, sus parámetros y factores que los afectan (energía, tasa de dosis, dosis por unidad de monitor, etc.).
 - Observar y asesorar los mantenimientos de los equipos de radioterapia.
 - Conocer las especificaciones y selección de aceleradores lineales y otros equipos de tratamiento.
 - Realizar las pruebas de aceptación y puesta en servicio de estos equipos.
 - Realizar el control de calidad periódico de los equipos de tratamiento e imágenes.
- Dosimetría clínica de haces de tratamiento convencional:
 - Investigar y aplicar protocolos de dosimetría, incluyendo códigos de prácticas nacionales.
 - Participar en la calibración de equipos medidores de radiación incluyendo cámaras de ionización y diodos.
 - Realizar medidas de las cámaras en su fuente de referencia (por ej. Sr-90).
 - Realizar medidas de dosis absolutas y relativas (factores de campos, PDP, perfiles, etc.).
 - Usar maniqués de agua tanto manuales como computarizados y realizar pruebas de control de calidad.
 - Participar en la adquisición e introducción de datos a los sistemas de planificación de tratamientos.
- Adquisición de datos de pacientes:
 - Verificar la transmisión de imágenes y otros datos vía red desde el CT y el simulador al sistema de planificación y de éste al acelerador lineal, así como el control de calidad respectivo del sistema de transferencia.

- Especificar, justificar y clasificar los criterios para la selección de equipos generadores de imágenes en radioterapia (simulador, CT, RM, PET, SPECT).
 - Participar en el uso de estas imágenes para localización y tratamiento en la práctica clínica.
 - Producir y verificar contornos y delimitaciones y otros datos del paciente para la planificación de tratamientos.
 - Evaluar la incertidumbre en la data del paciente.
- Planificación de tratamiento:
- Asistir y comparar los procesos de delimitación de GTV, CTV, PTV y OR para diferentes localizaciones.
 - Participar en discusiones con grupos multidisciplinarios.
 - Verificar el proceso de transferencia de imágenes al sistema de planificación de tratamiento.
 - Conocer las limitaciones de los algoritmos de los sistemas de planificación de tratamiento usando toda la información disponible.
 - Investigar los efectos de cambios de parámetros en el plan de tratamiento usando los sistemas disponibles.
 - Investigar los métodos usados para tomar en cuenta las inhomogeneidades y falta de tejido en irradiación con haces de fotones, tales como patrones de longitud equivalente, ETAR, convolución y superposición.
 - Realizar cálculos manuales de unidades de monitor y tiempo para haces fotones y electrones de equipos de megavoltaje en diferentes situaciones clínicas.
 - Realizar planificación manual simple.
 - Producir distribuciones de dosis en campos extendidos de tratamiento.
 - Especificar, justificar y clasificar los criterios para la selección de equipos de planificación de tratamiento.
 - Seleccionar energías de fotones y electrones para aplicaciones clínicas.
 - Producir planes de tratamiento que muestren el efecto de oblicuidad y heterogeneidades.
 - Producir planes de tratamiento usando diferentes fuentes de imágenes y un número representativo de blancos, usando modificadores de haces tales como cuñas, bloques, MLCs, compensadores y bolos.
 - Investigar el uso de protocolos disponibles de IMRT.
 - Realizar control de calidad del sistema de planificación de tratamiento y la data contenida en el mismo.
 - Verificar los cálculos computarizados de unidades de monitor de los planes de tratamiento usando programas independientes tomando en cuenta los factores de tamaño de campo, factores de cuña y bandeja, etc.
 - Revisar los planes de tratamiento individual de cada paciente.
- Técnicas en radioterapia:
- Comparar diferentes niveles de complejidad en la planificación de tratamiento con relación a los requerimientos clínicos y la incertidumbre asociada.
 - Observar y evaluar un conjunto representativo de tratamientos a pacientes.
 - Observar y evaluar técnicas especiales de tratamiento tales como radioterapia estereotáxica, irradiación corporal total, irradiación total de piel, etc.
 - Comparar protocolos nacionales e internacionales con aquellos usados en la institución.

- Verificación de tratamientos:
 - Acompañar al físico e interactuar con los pacientes según los reglamentos de la práctica médica local.
 - Observar y evaluar actividades en el cuarto de moldes y la producción de dispositivos de inmovilización y bloques de protección.
 - Verificar el uso de estos dispositivos durante el proceso de simulación, su uso en el sistema de planificación y los equipos de tratamiento.
 - Observar el uso del simulador para la verificación del tratamiento antes de ejecutarlo.
 - Verificar en maniqués los planes de tratamiento.
 - Evaluar las discrepancias entre las imágenes portales, imágenes de verificación del simulador y las DDR.
 - Usar sistema de almacenamiento y verificación.
- Aseguramiento de la calidad en radioterapia:
 - Determinar las fuentes y niveles de incertidumbre en la geometría y entrega de la dosis y los métodos de monitoreo y control de las mismas.
 - Evaluar los reportes de incidentes en el departamento así como las acciones tomadas.

Braquiterapia

- Equipamiento:
 - Justificar la elección de fuentes abiertas y cerradas de uso en braquiterapia y las razones de la misma en situaciones clínicas particulares.
 - Mostrar las ventajas y desventajas de las fuentes disponibles localmente.
 - Observar el uso seguro y custodia de fuentes radioactivas pequeñas, así como las acciones prácticas a tomar en caso de pérdida y deposición final de las mismas.
 - Realizar pruebas de fuga a las fuentes.
 - Asistir en la preparación de fuentes de braquiterapia para uso clínico.
- Especificación de las fuentes:
 - Medir la actividad o calibración de fuentes de braquiterapia de uso local, usando métodos disponibles y determinar la incertidumbre de la medida.
- Técnicas y métodos de tratamiento:
 - Investigar los sistemas dosimétricos para braquiterapia intersticial e intracavitaria (Sistemas de París y Manchester).
 - Planificar la distribución de fuentes para la dosis requerida.
 - Participar en el proceso clínico completo de braquiterapia tanto manual como de carga remota diferida, haciendo la localización, plan de tratamiento y la aplicación misma.
- Planificación de tratamiento y cálculo de dosis en braquiterapia:
 - Investigar los algoritmos usados localmente para el cálculo y optimización de la dosis.

- Calcular el tiempo de tratamiento para inserciones intracavitarias usando métodos manuales.
 - Calcular el tiempo de tratamiento para implantes intersticiales usando métodos manuales.
 - Producir distribución de dosis en tratamientos de braquiterapia utilizando sistemas computarizados.
- Aseguramiento de la calidad en braquiterapia:
- Realizar el control de calidad de las fuentes de braquiterapia, aplicadores y equipos.

Terapia con fuentes abiertas

- Revisar las actividades de los radionúclidos en el contenedor.
- Realizar cálculos a órganos de riesgo.
- Observar el proceso clínico de administración de radionúclidos abiertos a pacientes y manejo posterior del paciente.

Protección radiológica

- Evaluar la aplicación de las leyes vigentes.
- Realizar mediciones de radiación en las áreas utilizando los instrumentos adecuados.
- Discutir sobre el uso de dosímetros personales (películas, TLD, etc.).
- Investigar los factores de riesgo a la radiación.
- Discutir los planes de emergencia.
- Asesorar sobre los riesgos que se corren.
- Calcular barreras para los equipos, aceleradores, simulador, braquiterapia y locales para la preparación de radiofármacos.
- Investigar cuáles son los depósitos locales de desperdicios.
- Discutir sobre los procesos de recontaminación después del derramamiento de un radionúclido.

APÉNDICE B-2: ENTRENAMIENTO CLÍNICO DEL FÍSICO MÉDICO EN DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES: HABILIDADES

Radiodiagnóstico

- Equipamiento:
 - Demostrar y comprender los principios de la garantía de calidad aplicada a los sistemas de imagenología.
 - Saber operar los equipos de radiografía y fluoroscopia con fines de realizarles pruebas de controles de calidad y de seguridad (la operación de equipos más complejos, como CT, puede requerir la asistencia de un operador más experimentado).
 - Ejecutar las mediciones destinadas a las pruebas de seguridad, puesta en servicio y controles periódicos, en un espectro amplio de sistemas de radiodiagnóstico.
 - Ejecutar las mediciones destinadas a evaluar la calidad de las imágenes de varios tipos de equipos, que incluya como mínimo los diferentes tipos de chasis de películas y los sistemas con pantallas intensificadoras de imágenes.
 - Comprender los principios de funcionamiento de los sistemas de radiología digital, y las pruebas de su funcionamiento.
 - Hacer análisis de resultados y emitir conclusiones preliminares a partir de estas mediciones, en particular, respecto a las opciones de los equipos para una óptima utilización.

- Dosimetría de pacientes:
 - Realizar las mediciones y cálculos necesarios para determinar la dosis recibida por los pacientes en un amplio rango de exámenes, que deben incluir estudios de radiografía, fluoroscopia, CT y mamografía.
 - Analizar las mediciones de dosis en pacientes, extrayendo conclusiones en el contexto de la optimización de la práctica.
 - Determinar, mediante simulación y/o mediciones, las vías de reducción de la dosis al paciente.
 - Calcular las dosis a los órganos y la dosis efectiva, relacionar la dosis al riesgo radiológico y saber informar de manera efectiva el riesgo asociado al examen.

- Protección radiológica:
 - Realizar mediciones para determinar los riesgos y demostrar conocimiento sobre las medidas de radioprotección disponibles para el personal ocupacionalmente expuesto en los departamentos de radiodiagnóstico.
 - Realizar las mediciones y cálculos necesarios para el diseño seguro de instalaciones radiológicas (con énfasis en la selección de los materiales constructivos apropiados).
 - Discutir el alcance, requerimientos e interpretación de las legislaciones relevantes, protocolos de dosimetría, regulaciones y guías locales.

Medicina nuclear

- Empleo de los equipos y aplicaciones clínicas:
 - Describir la operación y funcionamiento de los principales componentes del equipamiento empleado en medicina nuclear, incluyendo gammacámaras, contadores de muestras, calibradores de radionúclidos, etc.
 - Realizar operaciones de rutina con estos equipos (incluyendo adquisición de datos e imágenes, y su procesamiento), reconocer los posibles artefactos en los datos y las imágenes.
 - Conocer las principales instalaciones necesarias para la producción de radiofármacos.
 - Preparar radiofármacos simples marcados con Tc-99m, usando los protocolos apropiados.
 - Describir y demostrar las características notables de las imágenes con los radionúclidos y exámenes más comunes, incluyendo su contexto y uso clínico.
 - Demostrar conocimiento sobre un rango amplio de procedimientos con radiofármacos.

- Terapia con fuentes abiertas:
 - Revisar las actividades de los radionúclidos en el contenedor.
 - Realizar cálculos a órganos de riesgo.
 - Observar el proceso clínico de administración de radionúclidos abiertos a pacientes y manejo posterior del paciente.

- Garantía de la calidad y medidas de seguridad:
 - Realizar calibraciones de rutina y pruebas de controles de calidad en la mayor parte de los equipos usados en medicina nuclear (esto debe incluir sistemas SPECT y eventualmente PET).
 - Analizar los documentos y registros de resultados de los controles de calidad.
 - Demostrar conocimientos sobre el papel de las auditorías internas y externas.

- Protección radiológica:
 - Identificar y aplicar los procedimientos y medidas de radioprotección, incluyendo los principios de blindajes, distancia y tiempo.
 - Identificar las acciones apropiadas a seguir ante la ocurrencia de accidentes o incidentes.
 - Conocer los procesos de descontaminación después del derramamiento de un radionúclido.
 - Conocer los depósitos locales de residuos radiactivos.
 - Dominar el alcance, requerimientos e interpretación de las legislaciones nacionales vigentes en relación al uso de radiofármacos y fuentes no selladas; dominar los protocolos de calibración y otras guías y regulaciones de las prácticas de medicina nuclear.

Imaginología por resonancia magnética (IRM)

- Empleo de los equipos:
 - Describir la operación y funcionamiento de los principales componentes de los sistemas de IRM.
 - Seleccionar y ubicar de forma apropiada las bobinas de RF para los maniqués de pruebas o pacientes.
 - Saber manejar los equipos de IRM para la obtención de imágenes con objetos de prueba.
 - Seleccionar los protocolos y parámetros de adquisición de imágenes apropiados para producir imágenes T1, T2 y de densidades de protones, usando secuencias básicas de pulso espín-eco y gradiente-eco.
 - Familiarizarse con las técnicas y secuencias más avanzadas de uso clínico en la institución.
 - Conocer las estrategias para la reducción de artefactos de movimientos, tales como el gatillo cardiaco y respiratorio, e imágenes de inspiración retenida.
 - Tener conocimiento de un amplio diapasón de sistemas de IRM disponibles en el mercado, particularmente en lo que respecta a sus intensidades de campo y aplicaciones clínicas.

- Aplicaciones clínicas:
 - Familiarizarse con las imágenes normales y patológicas obtenidas en aplicaciones comunes usando secuencias de pulsos simples.
 - Conocer el papel de los parámetros de las imágenes en la determinación del contraste y los efectos subyacentes al variar estos parámetros para secuencias de pulsos espín-eco y gradiente-eco.
 - Dominar al menos dos o más técnicas especializadas de uso clínico en el servicio donde se realiza el entrenamiento, tales como, por ejemplo, angiografía por resonancia magnética, espectroscopía por resonancia magnética, IRM funcional, imágenes pesadas por difusión o imágenes pesadas por perfusión.

- Aseguramiento de la calidad y medidas de seguridad:
 - Ejecutar los procedimientos rutinarios para controlar los parámetros de calidad de las imágenes, tales como relación señal-ruido, uniformidad y distorsión.
 - Conocer los principales factores instrumentales que afectan la calidad de la imagen.
 - Conocer las principales fuentes de artefactos en las imágenes, y los métodos para su reducción.
 - Tener conocimiento de los potenciales riesgos biofísicos y prácticos de los equipos de IRM, incluyendo los riesgos asociados a los sistemas criogénicos, sistemas de protección contra incendios y otros sistemas de emergencia.
 - Dominar las principales normas y recomendaciones nacionales e internacionales sobre la seguridad en la IRM.
 - Reconocer las diversas implicaciones en la seguridad de los IRM con diferentes intensidades de campo y/o diseños.
 - Estar familiarizado con los conceptos de áreas controladas para RM, y con los controles administrativos requeridos para garantizar la seguridad en tales áreas.

Ultrasonido (US)

- Empleo de los equipos y aplicaciones clínicas:
 - Describir la operación y funcionamiento de los principales componentes de un escáner de ultrasonido, incluyendo ejemplos de las nuevas tecnologías.
 - Saber usar los equipos de ultrasonido para obtener imágenes de objetos o maniqués de prueba, e información de velocidad de arterias periféricas.
 - Discutir la selección de los equipos y sus configuraciones para diferentes aplicaciones clínicas.
 - Reconocer y explicar los artefactos en las imágenes.
 - Reconocer apariencias normales y patológicas en exámenes simples, usando herramientas como escalas de grises, flujos de colores, Doppler espectral y despliegues en modo M.
 - Demostrar conocimiento de las aplicaciones terapéuticas del ultrasonido.

- Pruebas de controles la calidad y medidas de seguridad:
 - Ejecutar los procedimientos rutinarios para controlar los parámetros de calidad de los equipos de ultrasonido diagnóstico y terapéutico.
 - Dominar las técnicas para el control de calidad de los sistemas Doppler.
 - Analizar los resultados de las calibraciones y los controles de calidad.
 - Medir el potencial acústico total de equipos de US diagnóstico y terapéuticos.
 - Medir la presión acústica y las intensidades derivadas de sistemas pulsados y de onda continua.
 - Determinación de índices térmicos y mecánicos a partir de medida.
 - Discutir las razones y aplicaciones de los índices térmicos y mecánicos.
 - Discutir los bioefectos que pueden ser asociados al uso del US, y las medidas de seguridad apropiadas que deben tomarse al efecto.
 - Demostrar conocimiento de las normas y guías de seguridad de los equipos de US diagnóstico y terapéuticos.
 - Discutir los riesgos eléctricos asociados al uso de los equipos de US.

APÉNDICE C-1: HERRAMIENTA PARA LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS EN FÍSICA MÉDICA EN SERVICIOS DE RADIOTERAPIA (EJEMPLO)

C-1.1. Estimación de recursos humanos para un servicio de radioterapia (ejemplo)

	Componente	Cantidad	Coeficientes recomendados		Personal requerido	
			Dosimetrista/ componente	Físico/ componente	Dosimetristas	Físicos médicos
Equipos, fuentes y sistemas	Acelerador multienergético	3	$0.20 + 0.05k^a$	$0.4 + 0.1k^a$	0.60	1.20
	Acelerador monoenergético	1	$0.15 + 0.05k^a$	$0.30 + 0.1k^a$	0.15	0.30
	Unidad de Cobalto, IMRT, PACS	3	0.10	0.20	0.30	0.60
	Unidad de ortovoltaje y superficial	1	0.05	0.10	0.05	0.10
	Braquiterapia manual y diferida LDR	1	0.10	0.15	0.10	0.15
	Braquiterapia HDR	2	0.10	0.25	0.20	0.50
	Simulador, CT-simulador	2	0.10	0.25	0.20	0.50
	Sistema de planificación	2	0.10	0.25	0.20	0.50
	Sistema de planeación HDR	2	0.10	0.15	0.20	0.30
Pacientes ^e	RT externa con planeación 3D	600	0.20	0.15	1.20	0.90
	RT externa con planeación convencional	1400	0.10	0.08	1.4	1.12
	Braquiterapia con fuentes selladas	300	0.40	0.20	1.20	0.60
	Terapia con fuentes no selladas	100	0.50	0.50	0.50	0.50
	IMRT, RCE, TBI	100	0.60	0.40	0.60	0.40
Otras	Formación y docencia	4	0.10	0.15	0.40	0.60
	Informes internos	10	0.03	0.03	0.30	0.30
	Comisiones y reuniones	3	0.05	0.05	0.15	0.15
	Administración y gestión	1	1.00	0.20	1.00	0.20
Total					8.5	8.8
Corrección por economía de escala			$M = 0.68N + 2$		8	8

^a k es el número de elementos adicionales con que cuente el acelerador: MLC, EPID, colimadores para RCE, aplicadores intra-operatorios, sistemas de irradiación corporal total, cuñas virtuales/dinámicas.

^b Los coeficientes en esta sección del cuadro corresponden a 100 tratamientos/año. Esto es, el número de físicos se obtiene dividiendo la cantidad de pacientes por 100, y multiplicando por el coeficiente correspondiente.

En caso de no disponerse en el servicio de la figura del dosimetrista o asistente de físico médico, los factores para físicos deben incrementarse en un 50% de los correspondientes a los dosimetristas. Por ejemplo, para los factores de acelerador lineal multienergético, el factor físico/componente pasaría a ser: $0.50 + 0.13k$.

APÉNDICE C-2: HERRAMIENTA PARA LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS EN FÍSICA MÉDICA EN SERVICIOS DE DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES (EJEMPLO)

C-2.1. Estimación de recursos humanos para un servicio de diagnóstico por imágenes (ejemplo)

Componente	Cantidad	Técnico/ comp. ^a	Físico/ comp.	Técnicos	Físicos médicos	
Equipos (control de calidad)	PET	1	0.17	0.35	0.17	0.35
	SPECT	1	0.13	0.25	0.13	0.25
	Cámara gamma planar	1	0.1	0.15	0.1	0.15
	Sistemas no imaginológicos	1	0.1	0.05	0.1	0.05
	Equipo de radiografía convencional	1	0.015	0.015	0.015	0.015
	Equipo para radiografía intervencionista	1	0.04	0.02	0.04	0.02
	Mamografía	1	0.015	0.015	0.015	0.015
	CT	1	0.04	0.08	0.04	0.08
	Equipo de radiografía digital	1	0.015	0.04	0.015	0.04
	Resonancia magnética	1	0.1	0.2	0.1	0.2
	Ultrasonido	1	0.01	0.015	0.01	0.015
	Sistemas de visualización	1	0.01	0.01	0.01	0.01
	Procesadora	1	0.05	0.02	0.05	0.02
	PACS (por equipo conectado)	1	0.01	0.01	0.01	0.01
Pacientes ^b	Estudios SPECT	100	0.006	0.003	0.006	0.003
	Estudios PET	100	0.01	0.05	0.01	0.05
	Terapias no-metabólicas con fuentes no selladas	100	0.1	0.15	0.1	0.15
	Terapias metabólicas con estimación de dosis a órganos	100	0.1	0.4	0.1	0.4
Protección radiológica	Vigilancia dosimétrica del POE	100	0.0025	0.0015	0.25	0.15
	Gestión de instalaciones (por instalación)	1	0.02	0.05	0.02	0.05
	Verificación de instalaciones (blindaje, seguridades, control de accesos)	1	0	0.02	0	0.02
	Elaboración y actualización de procedimientos, normas y licencias de PR (por instalación)	1	0	0.025	0	0.025
	Vigilancia y gestión de desechos radiactivos (por instalación)	1	0.065	0.1	0.065	0.1
Vigilancia radiológica (por zonas y locales)	10	0.005	0.005	0.05	0.05	
Otros	Informes internos	1	0	0.2	0	0.2
	Comisiones y reuniones	1	0	0.09	0	0.09
	Administración y gestión	1	0	0.2	0	0.2
Total				1.4	2.7	

^a Se refiere al apoyo que brindan los técnicos operadores de los equipos en las tareas afines a la física médica (controles de calidad, calibraciones, estimaciones de dosis, etc.).

^b Los coeficientes en esta sección del cuadro corresponden a 100 estudios o terapias/año. Esto es, el número de físicos se obtiene dividiendo la cantidad de pacientes por 100, y multiplicando por el coeficiente correspondiente.

Si los operadores no participan en este tipo de actividades, los factores para físicos deben incrementarse en un 50% de los correspondientes a los del técnico; por ejemplo, para el caso del cuadro, el número de físicos médicos debería incrementarse a 3.7.

REFERENCIAS

- [1] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANISATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996).
- [2] THE EUROPEAN FEDERATION OF ORGANISATIONS FOR MEDICAL PHYSICS, Recommended guidelines on national schemes for continuing professional development of medical physicists, EFOMP Policy Statement No. 10, *Physica Medica* **XVII** (2001) 97–101.
- [3] EUROPEAN ATOMIC ENERGY COMMUNITY, Health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure, Council Directive 97/43/EURATOM, Official Journal of the European Communities **L 180** (1997) 22–27.
- [4] AMERICAN COLLEGE OF MEDICAL PHYSICS & AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Scope of Practice of Medical Physics, Policy Number PP 17-A ACMP&AAPM (2005), <http://www.aapm.org>.
- [5] SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA MÉDICA, Medios humanos y materiales necesarios en la unidad de radiofísica para la garantía de calidad en radioterapia, Grupo de trabajo de la SEFM (2000), http://www.sefm.es/documentos_documentos.php.
- [6] 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 la SEFM (2001), http://www.sefm.es/documentos_documentos.php.
- [7] THE EUROPEAN FEDERATION OF ORGANISATIONS FOR MEDICAL PHYSICS, Criteria for the staffing levels in a medical physics department, EFOMP Policy Statement No. 7, *Physica Medica* **XIII** (1997) 187–194.
- [8] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Academic Program Recommendations for Graduate Degrees in Medical Physics, Report No. 79 of the Education and Training of Medical Physicists Committee, Medical Physics Publishing, Madison WI (2002).
- [9] THE EUROPEAN FEDERATION OF ORGANISATIONS FOR MEDICAL PHYSICS, Radiation protection of the patient in Europe: the training of the medical physics expert in radiation physics or radiation technology, EFOMP Policy Statement No. 9, *Physica Medica* **XV** (1999) 149–153.
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, IAEA, Vienna (2005).
- [11] EUDALDO, T., et al., Guidelines for education and training of medical physicists in radiotherapy, *Radiother. Oncol.* **70** (2004) 125–135.
- [12] AUSTRALASIAN COLLEGE OF PHYSICAL SCIENTISTS AND ENGINEERS IN MEDICINE, Knowledge and Competencies required by Radiation Oncology Medical Physicists, ACPSEM Report (2005).
- [13] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Essentials and Guidelines for Hospital-Based Medical Physics Residency Training Programs, Report No. 90 of the Education and Training of Medical Physicists Committee, AAPM, College Park MD (2006).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Setting up a Radiotherapy Programme: Clinical, Medical Physics, Radiation Protection and Safety Aspects, IAEA, Vienna (2008).

- [15] INTER-SOCIETY COUNCIL FOR RADIATION ONCOLOGY, Radiation Oncology in Integrated Cancer Management, ISCRO, Philadelphia, PA (1991).
- [16] INSTITUTE OF PHYSICS AND ENGINEERING IN MEDICINE, Guidelines for the Provision of a Physics Service to Radiotherapy, IPEM, York (2002), <http://www.ipem.ac.uk>.
- [17] ABT ASSOCIATES INC, The Abt Study of Medical Physicist Work Values for Radiation Oncology Physics Services: Round II, Final Report prepared for ACMP&AAPM (2003).
- [18] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Staffing Levels and Responsibilities of Physicists in Diagnostic Radiology, Report 33 of Task Group 5, Diagnostic X-ray Imaging Committee, AAPM (1991).
- [19] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Medicine Resources Manual, IAEA, Vienna (2006).
- [20] WILLIAMS, N.R., et al., Guidelines for the provision of physics support to nuclear medicine, Report of a Joint Working Group of the British Institute of Radiology, British Nuclear Medicine Society and Institute of Physics and Engineering in Medicine, Nucl. Med. Comm. **20** (1999) 781–787.
- [21] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Applying Radiation Safety Standards in Radiotherapy, Safety Reports Series No. 38, IAEA, Vienna (2006).
- [22] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Applying Radiation Safety Standards in Diagnostic Radiology and Interventional Procedures Using X Rays, Safety Reports Series No. 39, IAEA, Vienna (2006).
- [23] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Applying Radiation Safety Standards in Nuclear Medicine, Safety Reports Series No. 40, IAEA, Vienna (2005).

ANEXO: EL DOSIMETRISTA

En algunos países existe un profesional denominado dosimetrista cuyas funciones se encuentran comprendidas aproximadamente entre las del técnico en radioterapia y las del físico médico [1]. El dosimetrista es un profesional de grado universitario medio, por ejemplo tecnólogo de radioterapia, que ha realizado una capacitación adicional en dosimetría clínica y aspectos físicos de garantía de calidad en radioterapia.

Bajo la supervisión directa del físico médico, el dosimetrista participa en actividades tales como planificación de tratamientos y control de calidad de las unidades de tratamiento, así como en el control de calidad de los procedimientos de localización, simulación e irradiación de pacientes llevados a cabo por el tecnólogo de radioterapia.

En general, las tareas más importantes de un dosimetrista en un servicio de radioterapia son:

I. Planificación de tratamientos y cálculo de dosis:

- a) Participar en el proceso de simulación.
- b) Realizar cálculos manuales o computarizados de dosis.
- c) Generar el plan de tratamiento, incluyendo curvas de isodosis usando los datos de la localización o de la simulación, imágenes de CT, MRI, etc.
- d) Presentar los planes para su aprobación al físico médico y al oncólogo radioterapeuta.
- e) Documentar el plan de tratamiento y transferirlo a los técnicos en radioterapia.
- f) Asegurarse que el plan de tratamiento se incluya en el expediente clínico del paciente.
- g) Participar en la revisión de los expedientes de cada paciente.

II. Medidas en los haces de radiación:

- a) Ocuparse de los controles de calidad diario de los equipos.
- b) Apoyar en los controles mensuales y anuales de los equipos.
- c) Apoyar en medidas clínicas especiales como dosimetría in vivo.

Cabe enfatizar que la responsabilidad de la planificación del tratamiento, así como de la puesta en marcha y desarrollo de la garantía de la calidad de los aspectos físicos de la radioterapia recae en el físico médico, y que el dosimetrista debe trabajar bajo la supervisión de un físico médico. En este aspecto, el papel del dosimetrista es asistir al físico médico, no sustituirlo.

COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN

Alfonso-Laguardia, R.	Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología, La Habana, Cuba
Andreo, P.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Brandan, M.E.	Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 D.F., México
Brunetto, M.	Instituto Médico Deán Funes, Córdoba, Argentina
Castellanos, M.E.	Universidad Javeriana - Hospital Universitario San Ignacio, Bogotá, Colombia
Da Cruz, J.C.	Hospital Israelita Albert Einstein, São Paulo, Brasil
Gutt, F.	SefimedCA, Caracas, Venezuela
Jiménez, P.	Organización Panamericana de la Salud
Vélez, G.R.	Private Consultant, Argentina

Reuniones de consultores y expertos

Santo Domingo, República Dominicana, 7–11 de febrero de 2005
Córdoba, Argentina, 5–9 de diciembre de 2005
Cartagena, Colombia, 7–11 de octubre de 2007



Where to order IAEA publications

In the following countries IAEA publications may be purchased from the sources listed below, or from major local booksellers. Payment may be made in local currency or with UNESCO coupons.

Australia

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, Mitcham Victoria 3132
Telephone: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788
Email: service@dadirect.com.au • Web site: <http://www.dadirect.com.au>

Belgium

Jean de Lannoy, avenue du Roi 202, B-1190 Brussels
Telephone: +32 2 538 43 08 • Fax: +32 2 538 08 41
Email: jean.de.lannoy@infoboard.be • Web site: <http://www.jean-de-lannoy.be>

Canada

Bernan Associates, 4611-F Assembly Drive, Lanham, MD 20706-4391, USA
Telephone: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450
Email: order@bernan.com • Web site: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 1-5369 Canotek Rd., Ottawa, Ontario, K1J 9J3
Telephone: +613 745 2665 • Fax: +613 745 7660
Email: order.dept@renoufbooks.com • Web site: <http://www.renoufbooks.com>

China

IAEA Publications in Chinese: China Nuclear Energy Industry Corporation, Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing

Czech Republic

Suweco CZ, S.R.O. Klecakova 347, 180 21 Praha 9
Telephone: +420 26603 5364 • Fax: +420 28482 1646
Email: nakup@suweco.cz • Web site: <http://www.suweco.cz>

Finland

Akateeminen Kirjakauppa, PL 128 (Keskuskatu 1), FIN-00101 Helsinki
Telephone: +358 9 121 41 • Fax: +358 9 121 4450
Email: akatilaus@akateeminen.com • Web site: <http://www.akateeminen.com>

France

Form-Edit, 5, rue Janssen, P.O. Box 25, F-75921 Paris Cedex 19
Telephone: +33 1 42 01 49 49 • Fax: +33 1 42 01 90 90 • Email: formedit@formedit.fr

Lavoisier SAS, 14 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex
Telephone: + 33 1 47 40 67 00 • Fax +33 1 47 40 67 02
Email: livres@lavoisier.fr • Web site: <http://www.lavoisier.fr>

Germany

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH, August-Bebel-Allee 6, D-53175 Bonn
Telephone: +49 02 28 949 02-0 • Fax: +49 02 28 949 02-22
Email: info@uno-verlag.de • Web site: <http://www.uno-verlag.de>

Hungary

Librotrade Ltd., Book Import, P.O. Box 126, H-1656 Budapest
Telephone: +36 1 257 7777 • Fax: +36 1 257 7472 • Email: books@librotrade.hu

India

Allied Publishers Group, 1st Floor, Dubash House, 15, J. N. Heredia Marg, Ballard Estate, Mumbai 400 001,
Telephone: +91 22 22617926/27 • Fax: +91 22 22617928
Email: alliedpl@vsnl.com • Web site: <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell, 24/4800, Ansari Road, Darya Ganj, New Delhi 110002
Telephone: +91 11 23268786, +91 11 23257264 • Fax: +91 11 23281315
Email: bookwell@vsnl.net • Web site: <http://www.bookwellindia.com>

Italy

Libreria Scientifica Dott. Lucio di Biasio "AEIOU", Via Coronelli 6, I-20146 Milan
Telephone: +39 02 48 95 45 52 or 48 95 45 62 • Fax: +39 02 48 95 45 48

Japan

Maruzen Company, Ltd., 13-6 Nihonbashi, 3 chome, Chuo-ku, Tokyo 103-0027
Telephone: +81 3 3275 8582 • Fax: +81 3 3275 9072
Email: journal@maruzen.co.jp • Web site: <http://www.maruzen.co.jp>

Korea, Republic of

KINS Inc., Information Business Dept. Samho Bldg. 2nd Floor, 275-1 Yang Jae-dong SeoCho-G, Seoul 137-130
Telephone: +02 589 1740 • Fax: +02 589 1746
Email: sj8142@kins.co.kr • Web site: <http://www.kins.co.kr>

Netherlands

Martinus Nijhoff International, Koraalrood 50, P.O. Box 1853, 2700 CZ Zoetermeer
Telephone: +31 793 684 400 • Fax: +31 793 615 698 • Email: info@nijhoff.nl • Web site: <http://www.nijhoff.nl>

Swets and Zeitlinger b.v., P.O. Box 830, 2160 SZ Lisse
Telephone: +31 252 435 111 • Fax: +31 252 415 888 • Email: info@swets.nl • Web site: <http://www.swets.nl>

New Zealand

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132, Australia
Telephone: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788
Email: service@dadirect.com.au • Web site: <http://www.dadirect.com.au>

Slovenia

Cankarjeva Založba d.d., Kopitarjeva 2, SI-1512 Ljubljana
Telephone: +386 1 432 31 44 • Fax: +386 1 230 14 35
Email: import.books@cankarjeva-z.si • Web site: <http://www.cankarjeva-z.si/uvoz>

Spain

Díaz de Santos, S.A., c/ Juan Bravo, 3A, E-28006 Madrid
Telephone: +34 91 781 94 80 • Fax: +34 91 575 55 63 • Email: compras@diazdesantos.es
carmela@diazdesantos.es • barcelona@diazdesantos.es • julio@diazdesantos.es
Web site: <http://www.diazdesantos.es>

United Kingdom

The Stationery Office Ltd, International Sales Agency, PO Box 29, Norwich, NR3 1 GN
Telephone (orders): +44 870 600 5552 • (enquiries): +44 207 873 8372 • Fax: +44 207 873 8203
Email (orders): book.orders@tso.co.uk • (enquiries): book.enquiries@tso.co.uk • Web site: <http://www.tso.co.uk>

On-line orders:

DELTA Int. Book Wholesalers Ltd., 39 Alexandra Road, Addlestone, Surrey, KT15 2PQ
Email: info@profbooks.com • Web site: <http://www.profbooks.com>

Books on the Environment:

Earthprint Ltd., P.O. Box 119, Stevenage SG1 4TP
Telephone: +44 1438748111 • Fax: +44 1438748844
Email: orders@earthprint.com • Web site: <http://www.earthprint.com>

United Nations (UN)

Dept. 1004, Room DC2-0853, First Avenue at 46th Street, New York, N.Y. 10017, USA
Telephone: +800 253-9646 or +212 963-8302 • Fax: +212 963-3489
Email: publications@un.org • Web site: <http://www.un.org>

United States of America

Bernan Associates, 4611-F Assembly Drive, Lanham, MD 20706-4391
Telephone: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450
Email: order@bernan.com • Web site: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 812 Proctor Ave., Ogdensburg, NY, 13669
Telephone: +888 551 7470 (toll-free) • Fax: +888 568 8546 (toll-free)
Email: order.dept@renoufbooks.com • Web site: <http://www.renoufbooks.com>

Orders and requests for information may also be addressed directly to:

Sales and Promotion Unit, International Atomic Energy Agency

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
Telephone: +43 1 2600 22529 (or 22530) • Fax: +43 1 2600 29302
Email: sales.publications@iaea.org • Web site: <http://www.iaea.org/books>

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA
ISBN 978-92-0-311209-3
ISSN 2074-7667