



COLECCIÓN DE SALUD HUMANA DEL OIEA

Nº 25

Funciones y responsabilidades
y requisitos de enseñanza
y capacitación para
los físicos médicos
clínicamente cualificados



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

PUBLICACIONES DE LA COLECCIÓN DE SALUD HUMANA DEL OIEA

El mandato del programa de salud humana del OIEA tiene su origen en el Artículo II de su Estatuto, según el cual “el Organismo procurará acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, a prosperidad y la salud en el mundo entero”. El objetivo principal del programa de salud humana es incrementar las capacidades 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.

Las publicaciones de la Colección de Salud Humana del OIEA facilitan información en materia de: radiología, comprendidas la radiología diagnóstica, la medicina nuclear diagnóstica y terapéutica, y la radioterapia; dosimetría y física médica de las radiaciones; y las técnicas de isótopos estables y otras aplicaciones nucleares en nutrición. Las publicaciones cuentan con una vasta audiencia y están dirigidas a los médicos, investigadores y otros profesionales. Expertos internacionales ayudan a la Secretaría del OIEA a redactarlas y revisarlas. Algunas de las publicaciones de esta colección pueden contar también con el aval o el patrocinio conjunto de organizaciones internacionales y sociedades profesionales activas en los ámbitos correspondientes.

Hay dos categorías de publicaciones en esta colección:

COLECCIÓN DE SALUD HUMANA DEL OIEA

Las publicaciones de esta categoría ofrecen análisis o facilitan información de carácter orientativo, por ejemplo, directrices, códigos y normas de práctica, y manuales de garantía de calidad. También se publican en esta colección monografías y material educativo de alto nivel, como textos para graduados.

INFORMES DE SALUD HUMANA DEL OIEA

Los Informes de Salud Humana complementan la información publicada en la Colección de Salud Humana del OIEA en los campos de la radiología, la dosimetría y la física médica de la radiación, y la nutrición. Estas publicaciones abarcan informes de reuniones técnicas, los resultados de proyectos coordinados de investigación del OIEA, informes provisionales sobre proyectos del OIEA y material didáctico compilado para cursos de capacitación del OIEA sobre temas relacionados con la salud humana. En algunos casos, estos informes pueden proporcionar material de apoyo relativo a las publicaciones editadas en la Colección de Salud Humana del OIEA.

Todas estas publicaciones pueden descargarse gratuitamente en el sitio web del OIEA:

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

Puede solicitarse más información a:

Dependencia de Mercadotecnia y Venta
Sección Editorial
Organismo Internacional de Energía Atómica
Centro Internacional de Viena
PO Box 100
1400 Viena (Austria)

Se invita a los lectores a dar a conocer sus impresiones sobre estas publicaciones. La información puede facilitarse por medio del sitio web del OIEA, por correo a la dirección antes citada o por correo electrónico a:

Official.Mail@iaea.org.

FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES
Y REQUISITOS DE ENSEÑANZA
Y CAPACITACIÓN PARA
LOS FÍSICOS MÉDICOS
CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS

Los siguientes Estados son Miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica:

AFGANISTÁN	FILIPINAS	OMÁN
ALBANIA	FINLANDIA	PAÍSES BAJOS
ALEMANIA	FRANCIA	PAKISTÁN
ANGOLA	GABÓN	PALAU
ARABIA SAUDITA	GEORGIA	PANAMÁ
ARGELIA	GHANA	PAPUA NUEVA GUINEA
ARGENTINA	GRECIA	PARAGUAY
ARMENIA	GUATEMALA	PERÚ
AUSTRALIA	HAITÍ	POLONIA
AUSTRIA	HONDURAS	PORTUGAL
AZERBAIYÁN	HUNGRÍA	QATAR
BAHAMAS	INDIA	REINO UNIDO DE
BAHREIN	INDONESIA	GRAN BRETAÑA E
BANGLADESH	IRÁN, REPÚBLICA	IRLANDA DEL NORTE
BELARÚS	ISLÁMICA DEL	REPÚBLICA ÁRABE SIRIA
BÉLGICA	IRAQ	REPÚBLICA
BELICE	IRLANDA	CENTROAFRICANA
BENIN	ISLANDIA	REPÚBLICA CHECA
BOLIVIA	ISLAS MARSHALL	REPÚBLICA DE MOLDOVA
BOSNIA Y HERZEGOVINA	ISRAEL	REPÚBLICA DEMOCRÁTICA
BOTSWANA	ITALIA	DEL CONGO
BRASIL	JAMAICA	REPÚBLICA DEMOCRÁTICA
BRUNEI DARUSSALAM	JAPÓN	POPULAR LAO
BULGARIA	JORDANIA	REPÚBLICA DOMINICANA
BURKINA FASO	KAZAJSTÁN	REPÚBLICA UNIDA
BURUNDI	KENYA	DE TANZANÍA
CAMBOYA	KIRGUISTÁN	RUMANIA
CAMERÚN	KUWAIT	RWANDA
CANADÁ	LESOTHO	SAN MARINO
CHAD	LETONIA	SANTA SEDE
CHILE	LÍBANO	SENEGAL
CHINA	LIBERIA	SERBIA
CHIPRE	LIBIA	SEYCHELLES
COLOMBIA	LIECHTENSTEIN	SIERRA LEONA
CONGO	LITUANIA	SINGAPUR
COREA, REPÚBLICA DE	LUXEMBURGO	SRI LANKA
COSTA RICA	MADAGASCAR	SUDÁFRICA
CÔTE D'IVOIRE	MALASIA	SUDÁN
CROACIA	MALAWI	SUECIA
CUBA	MALÍ	SUIZA
DINAMARCA	MALTA	SWAZILANDIA
DOMINICA	MARRUECOS	TAILANDIA
ECUADOR	MAURICIO	TAYIKISTÁN
EGIPTO	MAURITANIA, REPÚBLICA	TOGO
EL SALVADOR	ISLÁMICA DE	TRINIDAD Y TABAGO
EMIRATOS ÁRABES UNIDOS	MÉXICO	TÚNEZ
ERITREA	MÓNACO	TURQUÍA
ESLOVAQUIA	MONGOLIA	UCRANIA
ESLOVENIA	MONTENEGRO	UGANDA
ESPAÑA	MOZAMBIQUE	URUGUAY
ESTADOS UNIDOS	MYANMAR	UZBEKISTÁN
DE AMÉRICA	NAMIBIA	VENEZUELA, REPÚBLICA
ESTONIA	NEPAL	BOLIVARIANA DE
ETIOPÍA	NICARAGUA	VIET NAM
EX REPÚBLICA YUGOSLAVA	NÍGER	YEMEN
DE MACEDONIA	NIGERIA	ZAMBIA
FEDERACIÓN DE RUSIA	NORUEGA	ZIMBABWE
FIJI	NUEVA ZELANDIA	

El Estatuto del Organismo fue aprobado el 23 de octubre de 1956 en la Conferencia sobre el Estatuto del OIEA celebrada en la Sede de las Naciones Unidas (Nueva York); entró en vigor el 29 de julio de 1957. El Organismo tiene la Sede en Viena. Su principal objetivo es “acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero”.

COLECCIÓN DE SALUD HUMANA DEL OIEA N° 25

**FUNCIONES, RESPONSABILIDADES
Y REQUISITOS DE ENSEÑANZA
Y CAPACITACIÓN PARA
LOS FÍSICOS MÉDICOS
CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS**

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA, 2014

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 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
Centro Internacional de Viena
PO Box 100
1400 Viena (Austria)
fax: +43 1 2600 29302
tel.: +43 1 2600 22417
Correo electrónico: sales.publications@iaea.org
<http://www.iaea.org/books>

© OIEA, 2014

Impreso por el OIEA en Austria
Junio de 2014
STI/PUB/1610

FUNCIONES, RESPONSABILIDADES Y REQUISITOS
DE ENSEÑANZA Y CAPACITACIÓN PARA LOS FÍSICOS
MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS

OIEA, VIENA, 2014
STI/PUB/1610
ISBN 978-92-0-304514-8
ISSN 2075-3772

PREFACIO

El proyecto de cooperación técnica del OIEA titulado Fortalecimiento de la física médica en medicina radiológica fue aprobado por la Junta de Gobernadores del OIEA para el período 2009–2013 con el fin de garantizar el diagnóstico y tratamiento seguros y eficaces de los pacientes. El OIEA, junto con la Organización Mundial de la Salud e interesados directos de numerosas sociedades profesionales de física médica del mundo, entre otras, la Organización Internacional de Física Médica (IOMP), la Federación Europea de Organizaciones de Física Médica, la Asociación Americana de Físicos en Medicina (AAPM), la Asociación Latinoamericana de Física Médica, la Federación de Organizaciones de Física Médica de Asia y Oceanía, la Sociedad Europea de Radioterapia y Oncología, la Comisión Europea y la Asociación Internacional de Protección Radiológica, así como instituciones de contraparte regionales de África, Asia, Europa y América Latina, se reunieron en Viena en mayo de 2009 para planificar y coordinar el nuevo proyecto. La escasez de físicos médicos clínicamente cualificados (FMCC), una insuficiente enseñanza y capacitación (sobre todo una insuficiente capacitación clínica debidamente organizada y coordinada), y la falta de reconocimiento profesional se señalaron como los principales problemas que habría que abordar en el contexto del proyecto. La presente publicación fue elaborada en el ámbito del proyecto en respuesta a estas conclusiones. Su primera finalidad consiste en definir, de manera apropiada e inequívoca, las funciones y responsabilidades del FMCC en las especialidades de la física médica asociadas con el uso de radiaciones ionizantes, como la radioterapia, la medicina nuclear y la radiología diagnóstica e intervencionista. Para garantizar la integridad de esta publicación, también se toman en cuenta especialidades de la imaginología basadas en las radiaciones no ionizantes como la resonancia magnética y la ultrasonografía. En función de estas tareas, se formulan los requisitos mínimos recomendados para la enseñanza académica y la capacitación clínica de los FMCC, incluidas las recomendaciones para su acreditación, certificación y registro, así como para su desarrollo profesional continuo. El objetivo consiste en establecer criterios para apoyar la armonización de la enseñanza y la capacitación clínica a nivel mundial y promover el reconocimiento de la física médica como profesión.

La presente publicación ha sido refrendada por la AAPM y la IOMP.

El OIEA agradece las importantes contribuciones de C. Constantinou (Chipre) y K. Y. Cheung (China), Presidentes de los grupos de trabajo que redactaron las recomendaciones sobre la función y las responsabilidades de los FMCC y sobre la enseñanza y los requisitos de capacitación clínica y certificación, respectivamente. El OIEA también agradece la contribución especial de P. Andreo (Suecia) en la compilación del informe final.

Los funcionarios del OIEA encargados de la presente publicación fueron A. Meghzifene y D. van der Merwe, de la División de Salud Humana.

NOTA EDITORIAL

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.

Las denominaciones concretas de países o territorios empleadas en esta publicación no implican juicio alguno por parte del editor, el OIEA, sobre la condición jurídica de dichos países o territorios, de sus autoridades e instituciones, ni del 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.

El OIEA no es responsable de la continuidad o exactitud de las URL de los sitios web externos o de terceros en Internet a que se hace referencia en esta publicación y no garantiza que el contenido de dichos sitios web sea o siga siendo preciso o adecuado.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS	3
3.	FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS COMUNES PARA TODAS LAS ESPECIALIDADES DE LA FÍSICA MÉDICA	6
4.	FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES CONCRETAS DE CADA ESPECIALIDAD DE FÍSICA MÉDICA	9
4.1.	Radioterapia	9
4.2.	Imaginología	21
4.2.1.	Medicina nuclear	21
4.2.2.	Radiología diagnóstica e intervencionista	27
4.2.3.	Otros ámbitos de la imaginología	31
4.3.	Protección radiológica ocupacional y del público	38
4.3.1.	Seguridad del personal y el público	38
4.3.2.	Seguridad de las fuentes radiactivas	41
5.	DOTACIÓN DE PERSONAL Y ORGANIZACIÓN DE UN SERVICIO DE FÍSICA MÉDICA	42
5.1.	Requisitos de personal	44
6.	RECOMENDACIONES PARA LA CAPACITACIÓN ACADÉMICA Y CLÍNICA DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS	47
6.1.	Situación actual	47
6.2.	Requisitos de cualificación para la capacitación académica y clínica	48
6.3.	Acreditación, certificación y registro	50
6.4.	Programa de desarrollo profesional continuo	52
6.5.	Resumen de los requisitos de cualificación	53

APÉNDICE I: CÓDIGO DE ÉTICA PARA LOS FÍSICOS MÉDICOS QUE TRABAJAN EN EL MEDIO CLÍNICO	54
APÉNDICE II: DOSIMETRISTAS MÉDICOS – FUNCIONES Y APTITUDES	67
REFERENCIAS	71
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	74
COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y REVISIÓN	75

1. INTRODUCCIÓN

La física médica es una rama de la física aplicada que ejercen los físicos médicos, quienes aplican en la práctica los principios, métodos y técnicas de la física en el medio clínico y en la investigación para la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades humanas con el objetivo concreto de mejorar la salud y el bienestar de los seres humanos. La física médica abarca una amplia gama de aplicaciones en múltiples esferas y recientemente ha sido clasificada como profesión a nivel internacional [1]. La Organización Internacional de Física Médica (IOMP) [2] ha resumido las funciones y responsabilidades generales de los físicos médicos. Uno de los objetivos de la presente publicación es ofrecer una descripción detallada de estas funciones en un medio clínico, sobre todo en los aspectos relacionados con el empleo de las radiaciones ionizantes, así como proporcionar la base para justificar la aplicación de los requisitos internacionales armonizados para la enseñanza académica y la capacitación clínica de los físicos médicos.

Según la definición de las Normas básicas internacionales de seguridad (NBS) [3], un físico médico que trabaja en un medio clínico es:

“un profesional de la salud, con enseñanza y capacitación especializada en los conceptos y técnicas de aplicación de la física en la medicina, y competente para ejercer de manera independiente en uno o más de los subcampos (especialidades) de la física médica.”

Una definición similar del término “experto en física médica” [4], aunque limitada a aplicaciones relacionadas con las exposiciones médicas a la radiación, figura en la Directiva 97/43/Euratom del Consejo, recientemente enmendada durante el proceso de revisión de las normas de seguridad básicas de la Euratom [5]. Por “ejercer de manera independiente” se entiende que un físico médico trabaja sin la supervisión directa de un físico médico más experimentado y es capaz de garantizar la administración segura y eficaz de la radiación para lograr un resultado o diagnóstico terapéutico conforme a lo indicado en la atención de los pacientes. Las especialidades vinculadas a la utilización de las radiaciones ionizantes en la exposición médica comprenden la física de la imaginología, que incluye procedimientos de radiología diagnóstica e intervencionista (DIR) (radiología física) basados en el uso de radionucleidos (física de medicina nuclear), así como procedimientos de física radioterapéutica y de física médica sanitaria (protección radiológica en la medicina). Estas especialidades de la física médica son un componente indispensable de la medicina radiológica.

La presente publicación tiene la finalidad de establecer criterios que favorezcan la armonización de la enseñanza y la capacitación clínica en el mundo

entero, así como promover el reconocimiento y el profesionalismo de la física médica como profesión a escala internacional.

Los físicos médicos deben haber recibido enseñanza universitaria apropiada en ciencias físicas o de ingeniería, y posteriormente capacitación de competencia profesional que abarque un período adicional de 1 a 3 años de enseñanza académica en física médica a nivel de posgrado. Para llegar a ser un físico médico clínicamente cualificado (FMCC), después de la capacitación académica a nivel de posgrado deben cursarse al menos otros dos años de capacitación práctica estructurada en un medio clínico, en una o más especialidades de la física médica. En general, la enseñanza académica y la capacitación clínica normalmente deberían tener una duración de siete años como mínimo. Los físicos médicos que hayan terminado un programa académico y trabajen o realicen investigaciones en un medio no clínico necesitarán capacitación adicional apropiada para convertirse en TMCC. La enseñanza y capacitación de los físicos médicos debería ser reconocida por un órgano de acreditación nacional o internacional. Para mantener y perfeccionar su competencia profesional, así como su capacidad para trabajar de manera independiente, los físicos médicos en ejercicio deberían tomar un programa de desarrollo profesional continuo que comprenda la asistencia a conferencias nacionales y/o internacionales y a cursos sobre temas asociados a su esfera de especialización. También deberían consultar regularmente revistas y publicaciones científicas de interés.

La competencia de los físicos médicos debería ser sometida a una evaluación de la autoridad competente que desemboque en la aplicación de un mecanismo oficial para su registro y/o acreditación o certificación. El órgano de certificación profesional debería representar a los físicos médicos debidamente elegidos por la comunidad nacional de FMCC para ese fin. Cuando no exista un mecanismo oficial, los físicos médicos deberían ser certificados por un órgano de certificación profesional nacional o internacional, después de demostrar mediante exámenes escritos u orales que poseen el nivel de conocimientos especializados necesario para ejercer de manera independiente en uno o más subcampos de la física médica. El físico médico certificado es, por tanto, un FMCC que se ha certificado que posee el nivel de conocimientos especializados necesarios para ejercer de manera independiente en uno o más subcampos de la física médica sobre la base de los exámenes escritos u orales que le haya realizado un órgano de certificación profesional nacional o internacional, debidamente nombrado para ese fin.

La presente publicación tiene por objeto proporcionar recomendaciones sobre los requisitos de enseñanza académica y capacitación clínica mínimos necesarios para que un físico se convierta en un FMCC. Incluye recomendaciones para su acreditación, certificación y registro, junto con su desarrollo profesional continuo. Con objeto de establecer la base para justificar las recomendaciones,

en primer lugar se explican las funciones y responsabilidades de un FMCC en las diversas especialidades y se incluye asesoramiento sobre la organización de un servicio de física médica clínica.

Los FMCC son profesionales de la salud que tienen acceso a datos de los pacientes, tienen contacto directo con ellos en el medio clínico y participan en la gestión de su tratamiento y que, por consiguiente, están sujetos a los mismos principios éticos que determinan la conducta profesional. En el apéndice I figura una muestra de código de ética al que deben adherirse los FMCC en un medio clínico.

En algunos países, sobre todo de América del Norte, ha surgido un grupo independiente de profesionales, conocidos como dosimetristas médicos. En la mayoría de los países, los FMCC desempeñan las funciones y responsabilidades de los dosimetristas médicos. El apéndice II contiene información sobre las funciones y aptitudes típicas de los dosimetristas médicos según la Asociación Americana de Dosimetristas Médicos (AAMD).

2. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS

El físico médico es miembro del grupo multidisciplinario que participa en el diagnóstico y el tratamiento de pacientes con radiaciones ionizantes y no ionizantes, y contribuye a garantizar una alta norma de calidad del servicio en hospitales y clínicas (véanse las referencias [6 a 8]). Como profesional de la física, el FMCC es capaz de definir los problemas y formular estrategias para su solución, interpretar información nueva o no estándar, evaluar situaciones inusuales en forma científica, comunicar opiniones científicas con claridad y exactitud, reconocer situaciones erróneas y adoptar medidas correctoras apropiadas, así como reconocer sus propias limitaciones de conocimientos y aptitudes. La función primordial del FMCC en la práctica clínica es optimizar, o asesorar a otros profesionales de la salud para optimizar el empleo de las radiaciones con miras a garantizar la seguridad y calidad de los procedimientos diagnósticos o terapéuticos, establecer políticas, directrices y técnicas de medición para determinar la dosis de los pacientes, y recopilar y analizar datos de física clínica para el diagnóstico o tratamiento de las enfermedades.

Los FMCC se encargan del desarrollo y aplicación de los aspectos físicos y técnicos de los programas de garantía de calidad (GC) en los procedimientos diagnósticos y terapéuticos. También se encargan de asesorar o prestar asistencia a otros profesionales de la salud para optimizar el equilibrio entre los efectos

beneficiosos y nocivos de las radiaciones, y desempeñan una función clave en la instalación de nuevo equipo con respecto a la protección radiológica de los pacientes, los trabajadores y el público, incluido el diseño del blindaje contra las radiaciones. Los físicos médicos realizan actividades de investigación y desarrollo en relación con los nuevos equipos, métodos, procedimientos y tecnologías destinados a mejorar el diagnóstico y la atención clínica terapéutica. También imparten enseñanza y capacitación en física aplicada y seguridad radiológica a facultativos médicos [9], enfermeros, personal técnico, estudiantes y otras personas. En la mayoría de los hospitales los FMCC desempeñan responsabilidades que garantizan que las instalaciones de imagenología diagnóstica y tratamiento radiológico cumplan las normas y reglamentaciones nacionales y sigan las recomendaciones de los órganos internacionales competentes [3]. Los FMCC ayudan a la dirección de los hospitales a definir las especificaciones para compras de equipo y prestan asesoramiento técnico, científico y administrativo.

En esta sección se indican las funciones y responsabilidades concretas de los FMCC en la radioterapia y la imagenología basadas en las radiaciones ionizantes y no ionizantes. Aunque no se trata plenamente en esta publicación, los FMCC a veces también tienen competencia para prestar apoyo profesional en otros campos de la medicina (terapia fotodinámica, imagenología óptica, uso de láseres, uso terapéutico del ultrasonido y medición fisiológica, etc.). Algunas de estas modalidades están intrínsecamente incluidas en esta sección.

Las funciones y responsabilidades principales de los FMCC en el medio hospitalario se basan en su desarrollo profesional en una o más de las especialidades de la física médica y en su conocimiento clínico de los principios y la base anatómica y fisiológica de los estudios clínicos conexos, las técnicas para los procedimientos clínicos, etc. Las funciones y responsabilidades pueden dividirse en dos grupos principales: uno considera los aspectos comunes para todas las especialidades de la física médica y el otro se relaciona con los aspectos concretos de la especialización. Estos aspectos pueden resumirse de la manera siguiente:

- a) Funciones y responsabilidades comunes para todas las especialidades:
 - i) Calibración y verificación de los instrumentos de medición;
 - ii) Supervisión técnica del funcionamiento y mantenimiento del equipo;
 - iii) Registros y documentación;
 - iv) Informatización clínica y redes informáticas clínicas;
 - v) Investigación y desarrollo;
 - vi) Enseñanza y capacitación.

- b) Funciones y responsabilidades concretas de las especialidades de radioterapia, medicina nuclear y DIR:
- i) Diseño de instalaciones, especificación técnica, aceptación y puesta en servicio del equipo, incluso establecimiento de criterios de funcionamiento aceptable;
 - ii) Seguridad radiológica y protección de los pacientes, el personal y el público en general;
 - iii) Dosimetría de las fuentes de radiación y los pacientes;
 - iv) Optimización de los aspectos físicos de los procedimientos diagnósticos y terapéuticos;
 - v) Gestión de calidad de aspectos físicos y técnicos de la medicina radiológica como los siguientes:
 - Elaboración de políticas y procedimientos institucionales para el uso seguro y eficaz de las radiaciones;
 - Supervisión de procedimientos de GC y control de calidad (CC);
 - Evaluación y gestión de riesgos.
 - vi) Colaboración con otros profesionales clínicos en la atención de los pacientes, como por ejemplo:
 - Consulta con facultativos médicos y otros miembros de grupos clínicos durante los procedimientos diagnósticos o terapéuticos;
 - Puesta en marcha y supervisión de procedimientos clínicos nuevos o complejos y prestación de asistencia para la capacitación del personal clínico.

Las funciones y responsabilidades comunes para todas las especialidades de física médica se tratan a continuación y más adelante se incluye una sección en que se indican las funciones y responsabilidades concretas de las diversas especialidades basadas en las radiaciones ionizantes, a saber, la radioterapia, la medicina nuclear y la DIR. También se reseñan las funciones y responsabilidades de algunas especialidades de la imaginología que tienen que ver con las radiaciones no ionizantes, como la imaginología por resonancia magnética (MRI) y la ultrasonografía. Se presenta un resumen de las funciones y responsabilidades, junto con las responsabilidades de los FMCC en la protección radiológica de los pacientes, el personal y el público. Los aspectos de protección radiológica asociados con el uso de las fuentes radiactivas y los generadores de radiación en la clínica se examinan dentro de cada esfera de especialización, mientras que los relacionados con la protección radiológica de los trabajadores y el público se analizan por separado.

3. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS COMUNES PARA TODAS LAS ESPECIALIDADES DE LA FÍSICA MÉDICA

A continuación figuran las funciones y responsabilidades principales de los FMCC que son comunes para todas las especialidades de la física médica (resumidas en el cuadro 1):

- a) *Calibración y verificación de los instrumentos de medición:* Los FMCC se encargan de la calibración de los instrumentos que utilizan o del cumplimiento de las normas o códigos de práctica recomendados y del mantenimiento de los registros de calibración apropiados. Se encargan también de elaborar los procedimientos para determinar la estabilidad de los instrumentos para su uso clínico.
- b) *Supervisión técnica del funcionamiento y mantenimiento del equipo:* Los FMCC supervisan el mantenimiento preventivo y corrector, la reparación y calibración del equipo diagnóstico, terapéutico y de medición y se encargan de documentar la información pertinente. Colaboran con los ingenieros de mantenimiento en la elaboración y el mantenimiento del programa de gestión de calidad de todo el equipo para que sea posible el funcionamiento óptimo del equipo. Los FMCC se encargan de autorizar el uso clínico del equipo de radiación después de un procedimiento de mantenimiento. Para este fin, realizan mediciones de CC de determinada complejidad después del mantenimiento preventivo o corrector a fin de garantizar que la función del equipo no se haya visto afectada por ninguna alteración hecha durante el mantenimiento o la reparación. Al verificar la función adecuada del equipo tratan de asegurar su comportamiento óptimo así como la seguridad de los pacientes y el personal.
- c) *Registros y documentación:* Los FMCC aportan la documentación necesaria, mantienen los registros de su zona de trabajo y presentan pruebas de la conformidad del equipo y los procedimientos con las normas y recomendaciones apropiadas de las autoridades de reglamentación y acreditación. Examinan los registros en las historias clínicas de los pacientes en relación con la interpretación correcta de una prescripción de dosis o la solicitud de un procedimiento de imaginología de medicina radiológica, la optimización de los parámetros del plan de tratamiento de radioterapia, los parámetros terapéuticos o imaginológicos de los haces de radiación, la dosimetría de los pacientes y/o la dosimetría radiofarmacéutica. Además, los FMCC se encargan de la documentación de GC, la calibración del

CUADRO 1. RESUMEN DE LAS FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS COMUNES PARA TODAS LAS ESPECIALIDADES DE LA FÍSICA MÉDICA

a) Calibración y verificación de los instrumentos de medición	<p>Los FMCC son responsables de la idoneidad de los instrumentos y la calibración periódica de los instrumentos que utilizan o de los que son responsables.</p>
b) Supervisión técnica del funcionamiento y mantenimiento del equipo	<p>Los FMCC se encargan de establecer procedimientos de aceptación y puesta en servicio del equipo de diagnóstico, terapéutico y de medición. Colaboran con los ingenieros de mantenimiento en la coordinación de los programas preventivos y de mantenimiento y supervisan su aplicación, realizan mediciones de control de calidad y calibración para garantizar el funcionamiento seguro y óptimo del equipo, y autorizan el uso clínico después de cada procedimiento.</p>
c) Registros y documentación	<p>Los FMCC se encargan de la documentación y los registros sobre el mantenimiento, las calibraciones y el funcionamiento del equipo en su zona de trabajo y presentan pruebas de conformidad del equipo y los procedimientos con las normas y recomendaciones de las autoridades de reglamentación y acreditación.</p>
d) Informatización clínica y redes informáticas clínicas	<p>Los FMCC prestan asistencia en el uso clínico de las estaciones de trabajo informáticas de revisión/procesamiento, realizan tareas de gestión de sistemas informáticos básicos y de solución de problemas de sistemas de primera línea. Colaboran con los ingenieros informáticos en la verificación de la integración de redes y en la transferencia de datos con vistas a asegurar que todos los sistemas sean funcionales.</p>
e) Investigación y desarrollo	<p>Los FMCC evalúan las nuevas tecnologías, investigan la adopción de nuevos procedimientos y prestan asistencia en la capacitación del personal clínico para su aplicación. Apoyan los aspectos técnicos de la investigación clínica y suelen desempeñar una función destacada en el grupo de investigación médica, sobre todo en centros de alta complejidad tecnológica. Realizan actividades de investigación y desarrollo en física médica e instrumentación.</p>
f) Enseñanza y capacitación	<p>Los FMCC dictan conferencias y proporcionan capacitación en física médica a facultativos médicos, tecnólogos, físicos médicos subalternos, enfermeros, estudiantes, residentes y personal de mantenimiento técnico. También asesoran y supervisan a otros profesionales basándose en los requisitos establecidos para su enseñanza y desarrollo profesionales.</p>

Nota: FMCC: físico médico clínicamente cualificado.

equipo, las auditorías dosimétricas independientes y cualesquiera otras políticas y procedimientos de física médica.

- d) *Informática clínica y redes informáticas clínicas:* Los FMCC poseen el conocimiento y las aptitudes para prestar asistencia en el uso clínico de intranets, por ejemplo, revisando y procesando estaciones de trabajo informáticas o sistemas de registro y verificación, así como para realizar tareas básicas de gestión de sistemas informáticos y administrativas, aplicar técnicas de procesamiento de datos de imágenes, por ejemplo, reconstrucción, registro y fusión de imágenes, y solucionar problemas de sistemas de primera línea a fin de eliminar problemas informáticos comunes. Están familiarizados con los conceptos básicos y la utilización de sistemas de registro y verificación, de sistemas de archivo de imágenes y comunicación, de sistemas de información radiológica y de sistemas de información hospitalaria. También conocen cómo almacenar, manejar o distribuir las imágenes y datos de pacientes entre las distintas estaciones de trabajo. Colaboran con los ingenieros informáticos en la verificación de la integración de redes y la transferencia de datos con vista a asegurar que todos los sistemas sean funcionales y que los datos de los pacientes estén protegidos contra el acceso no autorizado y la violación de la privacidad.
- e) *Investigación y desarrollo:* Los FMCC evalúan las nuevas tecnologías e investigan la adopción de nuevos procedimientos y prestan asistencia en la capacitación del personal clínico para su aplicación. Apoyan los aspectos físicos y técnicos de la investigación clínica y suelen desempeñar un papel rector en el grupo de investigación médica, sobre todo en centros de alta complejidad tecnológica. Los FMCC desempeñan un importante papel en la elaboración de protocolos clínicos para la investigación aplicada. Realizan actividades de investigación y desarrollo en física médica e instrumentación, vigilan los adelantos actuales en esferas concretas de la investigación y diseñan planes de proyectos con hitos, metodología experimental y plazos estimados.
- f) *Enseñanza y capacitación:* Los FMCC desempeñan una función clave en la enseñanza académica y la capacitación clínica de los físicos médicos. También dictan conferencias y desarrollan material didáctico para facultativos médicos, tecnólogos, dosimetrías y enfermeros, así como para estudiantes, residentes y personal de mantenimiento técnico. Además, también pueden prestar asesoramiento constante o encargarse de la supervisión clínica de profesionales basándose en los requisitos establecidos para su enseñanza y desarrollo profesionales continuos.

4. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES CONCRETAS DE CADA ESPECIALIDAD DE FÍSICA MÉDICA

4.1. RADIOTERAPIA

La radioterapia es la disciplina médica que utiliza generadores de radiación ionizante o fuentes radiactivas para administrar una dosis de radiación a un volumen determinado que contiene una lesión maligna o benigna sin afectar los tejidos sanos que lo rodean. Cuando se utilizan fuentes externas de rayos X, rayos gamma, electrones, protones e iones más pesados, neutrones, etc., la modalidad se denomina teleterapia. Otro sistema, conocido como braquiterapia, emplea fuentes radiactivas selladas que emiten rayos gamma, electrones u otras partículas posibles para tratar tejidos cancerosos en casi todos los puntos anatómicos del cuerpo; según la distribución geométrica de la fuente, la técnica se denomina braquiterapia de contacto (intracavitaria, intraluminal, endovascular o superficial) o braquiterapia intersticial. Ambas modalidades se basan en gran medida en técnicas de imagenología para localizar los tumores y los volúmenes clínicos que se habrán de tratar o proteger. La especialidad médica suele denominarse “radiooncología”, aunque en sentido estricto incluye otros aspectos de la gestión del cáncer además del uso terapéutico de las radiaciones. Los físicos médicos solo se involucran con el paciente una vez que se ha adoptado la decisión clínica de incluir la radioterapia en la gestión de su tratamiento y, por este motivo, el término “físico de radioterapia” parece ser más coherente que el de “físico de radiooncología”; no obstante, hay una considerable falta de armonización de la terminología a nivel mundial.

Los FMCC especializados en radioterapia elaboran y aplican procedimientos para la planificación de la dosimetría y el tratamiento, para la GC de los procesos y el equipo, para el tratamiento de la administración y verificación y para la seguridad y protección radiológicas de los pacientes, los miembros del personal y el público. Su conocimiento también se aplica a la creación y optimización de nuevas técnicas de tratamiento y desempeña un importante papel en la adopción, aplicación, desarrollo, uso seguro y optimización de las técnicas y tecnologías avanzadas. La actuación de los físicos médicos en la radioterapia es fundamental para prestar un servicio seguro y cualificado. De ahí que su capacitación científica y práctica deba incluir profundos conocimientos de los aspectos clínicos de la radiobiología, lo que comprende el uso de esquemas de fraccionamiento que representen los vacíos entre fracciones de radioterapia, parámetros biológicos de tratamiento para diferentes tipos de tumores, la justificación del uso de rayos X y electrones en lugar de protones o iones más pesados, distribuciones de la deposición de energía y la transferencia lineal de energía y la optimización de

dosis. A continuación se indican las principales responsabilidades y funciones de los FMCC en la radioterapia (resumidas en el cuadro 2):

- a) *Diseño de la instalación, especificación técnica, aceptación y puesta en servicio del equipo, incluido el establecimiento de criterios para un funcionamiento aceptable:* Dentro de la especificación técnica, la aceptación, la puesta en servicio y la supervisión del funcionamiento adecuado de la instalación y su equipo y el establecimiento de criterios para su funcionamiento aceptable, deben considerarse las siguientes funciones y obligaciones:
- i) Los FMCC son un elemento fundamental del grupo en lo que se refiere a la instalación, el diseño y el blindaje de las salas de radioterapia nuevas o modificadas y garantizan que se cumplan todos los requisitos de seguridad. Calculan e indican el espesor, la composición del material y la ubicación del blindaje necesario para proteger a los pacientes, el personal y el público en general, garantizando así que se satisfagan todos los requisitos de seguridad y funcionalidad. También verifican la idoneidad del blindaje después de la instalación.
 - ii) Los FMCC desempeñan un papel preponderante en la preparación de las especificaciones del equipo conforme a las necesidades de la instalación de radioterapia y participan en la evaluación de ofertas y en la recomendación de compras de equipo. Analizan los requisitos funcionales para los usos clínicos y especifican las condiciones necesarias para la integración, la compatibilidad y la conectividad al equipo existente del equipo que se va a comprar.
 - iii) Tras la instalación del nuevo equipo, los FMCC se encargan de especificar las normas básicas que se habrán de aplicar para su aceptación y ulterior puesta en servicio. Garantizan que todas las unidades y sistemas funcionen según su especificación técnica y proporcionan asesoramiento sobre cualquier desviación del funcionamiento del equipo de los criterios aceptables, incluso orientaciones sobre la retirada del servicio cuando proceda. Los FMCC también cumplen la responsabilidad, a menudo en colaboración con ingenieros informáticos, de verificar los sistemas informáticos y algoritmos asociados con el nuevo equipo y garantizar que resulten adecuados para su uso clínico seguro y eficaz.
- b) *Seguridad y protección radiológicas de los pacientes, el personal y el público en general:* Los FMCC cumplen responsabilidades en la elaboración y ejecución del programa de seguridad radiológica clínica para la protección radiológica de los pacientes en la radioterapia. En la mayoría de los casos, no obstante, también cumplen responsabilidades

CUADRO 2. RESUMEN DE LAS FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS ESPECÍFICAS DE LAS ESPECIALIDADES DE RADIOTERAPIA, MEDICINA NUCLEAR, Y RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA E INTERVENCIONISTA

Esfera de responsabilidad	Radioterapia	Medicina nuclear	Radiología diagnóstica e interencionista
a) <i>Diseño de la instalación, especificación técnica y aceptación, puesta en servicio y mantenimiento del equipo</i>	<p>i) Formar parte integrante del grupo para el diseño del blindaje y la instalación de salas de radioterapia nuevas o modificadas, velando por que se cumplan los requisitos de seguridad;</p> <p>ii) Dirigir el trabajo de elaboración de las especificaciones del equipo;</p> <p>iii) Asumir la responsabilidad de la aceptación y puesta en servicio del equipo, incluso las unidades de tratamiento de radioterapia e imagenología, las fuentes de braquiterapia y los sistemas de planificación del tratamiento;</p> <p>iv) Prestar asesoramiento sobre la retirada del servicio del equipo.</p>	<p>i) Formar parte esencial del grupo para el diseño del blindaje y el montaje de instalaciones nuevas o modificadas, velando por que se cumplan los requisitos de seguridad;</p> <p>ii) Dirigir el trabajo de elaboración de las especificaciones del equipo;</p> <p>iii) Asumir la responsabilidad de la aceptación y puesta en servicio del equipo;</p> <p>iv) Prestar asesoramiento sobre la retirada del servicio del equipo.</p>	<p>i) Formar parte esencial del grupo para el diseño del blindaje y el montaje de instalaciones nuevas o modificadas, velando por que se cumplan los requisitos de seguridad;</p> <p>ii) Dirigir el trabajo de elaboración de las especificaciones del equipo;</p> <p>iii) Asumir la responsabilidad de la aceptación y puesta en servicio del equipo;</p> <p>iv) Prestar asesoramiento sobre la retirada del servicio del equipo.</p>

CUADRO 2. RESUMEN DE LAS FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS ESPECÍFICAS DE LAS ESPECIALIDADES DE RADIOTERAPIA, MEDICINA NUCLEAR, Y RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA E INTERVENCIONISTA (cont.)

Esfera de responsabilidad	Radioterapia	Medicina nuclear	Radiología diagnóstica e intervencionista
b) <i>Seguridad y protección radiológicas de los pacientes, el personal y el público en general</i>	i) Elaborar el programa de seguridad radiológica clínica para la protección radiológica de los pacientes, el personal y el público; ii) Participar en la investigación de incidentes y accidentes de radiación; iii) Elaborar procedimientos para verificar la integridad, el funcionamiento seguro y el uso del equipo y los accesorios de radioterapia.	i) Elaborar el programa de seguridad radiológica clínica para la protección radiológica de los pacientes, el personal y el público; ii) Participar en la investigación de incidentes y accidentes de radiación; iii) Elaborar procedimientos para verificar la integridad, el funcionamiento seguro y el uso del equipo de medicina nuclear y las fuentes radiactivas.	i) Elaborar el programa de seguridad radiológica clínica para la protección radiológica de los pacientes, el personal y el público; ii) Participar en la investigación de incidentes y accidentes de radiación; iii) Elaborar procedimientos para verificar la integridad, el funcionamiento seguro y el uso del equipo y los accesorios de radiología diagnóstica e intervencionista.

CUADRO 2. RESUMEN DE LAS FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS ESPECÍFICAS DE LAS ESPECIALIDADES DE RADIOTERAPIA, MEDICINA NUCLEAR, Y RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA E INTERVENCIONISTA (cont.)

Esfera de responsabilidad	Radioterapia	Medicina nuclear	Radiología diagnóstica e interaccionista
c) <i>Dosimetría de las radiaciones de los pacientes</i>	<ul style="list-style-type: none"> i) Adquirir los datos necesarios para el uso clínico de las unidades de tratamiento (parte del proceso de aceptación y puesta en servicio para la entrada en servicio); ii) Elaborar cuadros de datos para usos clínicos; iii) Establecer y aplicar procedimientos para el cálculo y la verificación de dosis de los pacientes; iv) Asumir la responsabilidad general de los cálculos de la planificación del tratamiento; v) Efectuar verificaciones de dosis de los pacientes, incluso dosimetría in vivo. 	<ul style="list-style-type: none"> i) Efectuar mediciones de actividad y el cálculo de la dosis recibida por distintos órganos después de la administración de radiofármacos en los diversos procedimientos clínicos; ii) Realizar cálculos de dosis específicas de pacientes y establecer tolerancias. 	<ul style="list-style-type: none"> i) Establecer procedimientos para estimar la dosis absorbida en pacientes durante distintos procedimientos clínicos; ii) Realizar cálculos de dosis específicas de pacientes, estableciendo tolerancias; iii) Efectuar estimaciones de dosis de pacientes para establecer niveles de referencia de diagnóstico o verificar la conformidad con los niveles de referencia de diagnóstico recomendados.

CUADRO 2. RESUMEN DE LAS FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS ESPECÍFICAS DE LAS ESPECIALIDADES DE RADIOTERAPIA, MEDICINA NUCLEAR, Y RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA E INTERVENCIONISTA (cont.)

Esfera de responsabilidad	Radioterapia	Medicina nuclear	Radiología diagnóstica e interencionista
d) <i>Optimización de los aspectos físicos de los procedimientos médicos</i>	i) Optimizar el proceso de planificación del tratamiento, incluso la adquisición de imágenes y la administración del tratamiento; ii) Elaborar un programa de gestión de calidad para las imágenes de radioterapia, el cálculo de dosis y los sistemas de administración del tratamiento.	i) Optimizar los procesos y procedimientos de adquisición de datos para mejorar la calidad de la imagen y al mismo tiempo minimizar la dosis de radiación de los pacientes; ii) Ayudar a los facultativos médicos de medicina nuclear en la evaluación de la eficacia del examen y en los estudios sobre la calidad y percepción de las imágenes.	i) Optimizar las técnicas y los procedimientos de adquisición de datos para mejorar la calidad de la imagen y al mismo tiempo minimizar la dosis de radiación de los pacientes; ii) Ayudar a los especialistas médicos en radiología diagnóstica e interencionista en la evaluación de la eficacia del examen y en los estudios sobre la calidad y percepción de las imágenes.

CUADRO 2. RESUMEN DE LAS FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS ESPECÍFICAS DE LAS ESPECIALIDADES DE RADIOTERAPIA, MEDICINA NUCLEAR, Y RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA E INTERVENCIONISTA (cont.)

Esfera de responsabilidad	Radioterapia	Medicina nuclear	Radiología diagnóstica e interaccionista
e) <i>Gestión de calidad de los aspectos físicos y técnicos</i>	<p>Participar como miembro del grupo en el diseño y aplicación de un programa de gestión de calidad y encargarse de lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) Elaboración de políticas y procedimientos institucionales relacionados con el uso de las radiaciones; ii) Establecimiento y aplicación de un programa de garantía de calidad para unidades de tratamiento, sistemas de planificación del tratamiento, equipo de dosimetría y equipo de imagenología de radioterapia; iii) Calibración de generadores de radiación y fuentes de braquiterapia con arreglo a un código de práctica bien establecido; iv) Realización de la evaluación de riesgos, determinación de exposiciones potenciales a la radiación y elaboración de procedimientos de acción para esos sucesos. v) Investigación de exposiciones médicas no intencionadas o accidentales. 	<p>Participar como miembro del grupo en el diseño y aplicación de un programa de gestión de calidad y encargarse de lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) Elaboración de políticas y procedimientos institucionales destinados a la continua optimización del uso de las radiaciones; ii) Establecimiento y ejecución de un programa de garantía de calidad con elementos apropiados para la manipulación y medición de fuentes radiactivas y la conformidad reglamentaria del equipo de imagenología y dosimetría; iii) Realización de la evaluación de riesgos, determinación de exposiciones potenciales a la radiación y elaboración de procedimientos de acción para esos sucesos; iv) Investigación de exposiciones médicas no intencionadas o accidentales. 	<p>Participar como miembro del grupo en el diseño y aplicación de un programa de gestión de calidad y encargarse de lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) Elaboración de políticas y procedimientos institucionales destinados a la continua optimización del uso de las radiaciones; ii) Elaboración y aplicación de procedimientos para la evaluación inicial y continua del equipo de imagenología y el equipo conexo, así como para la calibración del equipo de dosimetría de los pacientes; iii) Calibración de unidades de rayos X con arreglo a un código de práctica bien establecido; iv) Garantía de la conformidad del equipo de imagenología de radioterapia con las reglamentaciones y recomendaciones del gobierno y el organismo de acreditación.

CUADRO 2. RESUMEN DE LAS FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS ESPECÍFICAS DE LAS ESPECIALIDADES DE RADIOTERAPIA, MEDICINA NUCLEAR, Y RADIOLOGÍA DIAGNÓSTICA E INTERVENCIONISTA (cont.)

Esfera de responsabilidad	Radioterapia	Medicina nuclear	Radiología diagnóstica e intervencionista
f) <i>Colaboración con otros profesionales clínicos como miembros clave del grupo</i>	i) Prestar asesoramiento a facultativos médicos especialistas en radiooncología para establecer una técnica óptima de tratamiento; ii) Supervisar a los tecnólogos en la aplicación de nuevos procedimientos clínicos, incluso prestar asistencia en la configuración y corregir la administración del tratamiento.	i) Prestar asesoramiento a facultativos médicos especialistas en medicina nuclear en relación con casos especiales de exploración diagnóstica o tratamiento y ayudar a establecer el enfoque optimizado para cada caso; ii) Ayudar a implantar nuevos procedimientos clínicos, elaborar métodos para su garantía y control de calidad y supervisar su aplicación.	i) Prestar asesoramiento a facultativos médicos especialistas en radiología diagnóstica e intervencionista sobre casos especiales de diagnóstico o procedimientos intervencionistas y ayudar a establecer el enfoque optimizado para cada caso; ii) Ayudar a implantar nuevos procedimientos clínicos, elaborar métodos para su garantía y control de calidad y supervisar su aplicación.

para la seguridad radiológica del personal y el público en lo que se refiere al servicio y la infraestructura de radioterapia. Los FMCC se encargan de elaborar los procedimientos necesarios para comprobar la integridad del equipo y los accesorios para el correcto funcionamiento de los enclavamientos y otros aspectos de seguridad.

c) *Dosimetría radiológica de los pacientes*: Los FMCC se encargan de establecer procedimientos de cálculo y verificación de la dosis de radiación de los pacientes. Sus funciones incluyen la realización de mediciones dosimétricas con el empleo de cámaras de ionización y otros detectores para la referencia y determinación relativa de la dosis absorbida de fuentes de teleterapia o braquiterapia, la elaboración de métodos para analizar los resultados de las mediciones de dosis y la verificación de la exactitud de las distribuciones de dosis administradas a los pacientes. Entre las tareas relacionadas con la dosimetría de los pacientes figuran las siguientes:

i) Análisis de aceptación y puesta en servicio de generadores de radiación, fuentes radiactivas y sistemas de planificación del tratamiento (SPT): Los FMCC se encargan de los análisis de aceptación, la puesta en servicio y la adquisición de todos los datos necesarios para el uso clínico de las unidades de imaginología y tratamiento (parte del proceso de puesta en servicio para la entrada en servicio):

— Para todas las energías, modalidades y fuentes necesarias para la administración de la teleterapia y la braquiterapia, el proceso incluye mediciones para establecer los parámetros que caracterizan las fuentes de radiación, incluso mediciones suplementarias para poner en servicio los accesorios, que sirven de valores de referencia para las futuras mediciones de CC, así como para los cálculos de dosis en un punto de referencia y para las distribuciones de dosis en dos, tres y cuatro dimensiones.

— Elaboración de cuadros de datos para uso clínico: Los FMCC se encargan de garantizar que los datos sobre los haces externos y las fuentes radiactivas de la institución se conciben correctamente y se inserten en los SPT durante su puesta en servicio; estos sistemas registran y tabulan los datos en una forma útil e inteligible para quienes deben realizar o verificar los cálculos dosimétricos.

ii) Planificación del tratamiento y cálculos de dosis: Los físicos médicos realizan o supervisan los cálculos y mediciones necesarios para optimizar la distribución de la dosis en el paciente y asegurar su correcta aplicación en los distintos tipos de tratamiento. Estos cálculos pueden ser manuales o informatizados y/o mediciones en maniqués. Los FMCC también se encargan de validar la transferencia de imágenes y datos hacia los SPT y desde estos. Con frecuencia

también cumplen funciones de administradores del SPT, y aplican políticas de seguridad del sistema, posibilitan la protección de datos, la importación y exportación de datos, los respaldos de seguridad, el almacenamiento y archivo de datos, las mejoras y actualizaciones del sistema, etc.

- iii) Verificación de dosis de los pacientes: Los FMCC se encargan de las mediciones de verificación de la dosis específica de los pacientes. Determinan tolerancias y niveles de acción, lo que incluye mediciones de dosimetría in vivo pertinentes con el empleo de detectores apropiados.
 - iv) Otras tareas de braquiterapia: Después de la calibración de las fuentes radiactivas utilizadas para la braquiterapia, pero todavía como un componente del proceso de puesta en servicio, los FMCC se encargan de la comparación con los certificados de calibración del fabricante, y resuelven cualquier discrepancia que pueda surgir. Para iniciar los tratamientos con implantes manuales después de la carga, los FMCC se encargan del traslado de las fuentes de la sala blindada a la habitación del paciente y de la exploración radiológica necesaria después que las fuentes se han insertado en los aplicadores. Los FMCC realizan mediciones de CC periódicas para que los movimientos de la fuente controlados por computadora sean exactos. Se encargan asimismo de elaborar políticas y procedimientos para garantizar la seguridad y protección de los pacientes, el personal y los miembros del público con respecto a este tipo de fuente. Elaboran un plan de acción de emergencia e indican los pasos que habrá que seguir en el caso de que una fuente se pierda o falle el sistema informatizado de tratamiento por braquiterapia. Cuando se retiran del servicio una unidad o fuentes de braquiterapia, los físicos médicos se encargan de la disposición final de los desechos radiactivos después de la extracción de la fuente del equipo.
- d) *Optimización de los aspectos físicos de los procedimientos terapéuticos:* Los FMCC cumplen responsabilidades relacionadas con la optimización de los aspectos físicos y técnicos de los procedimientos terapéuticos utilizados en su instalación de radioterapia. Entre esas responsabilidades se incluye su apoyo a la selección de las ayudas apropiadas para la colocación e inmovilización con el fin de optimizar los planes de tratamiento de los pacientes según las técnicas de administración previstas, la supervisión de la fabricación, el CC y la verificación de los dispositivos de configuración de los haces, la ejecución de la GC con respecto a la modulación de la intensidad empleada para cada tratamiento, la definición de los protocolos de imagenología utilizados para la planificación del tratamiento y la

radioterapia guiada por imágenes (IGRT), así como la elaboración de las metodologías empleadas para determinar los márgenes de ajuste.

e) *Gestión de calidad de los aspectos físicos y técnicos de la radioterapia:* Los FMCC participan como miembros del grupo en el establecimiento del programa de gestión de calidad y son responsables de los aspectos físicos y técnicos. Las tareas afines son las siguientes:

i) Elaboración de políticas y procedimientos institucionales relacionados con el uso de las radiaciones, lo que incluye la responsabilidad de documentar y aplicar nuevas políticas y procedimientos, o actualizar los existentes:

— Procedimientos asociados con la salud y la seguridad, por ejemplo, procedimientos vinculados a la protección radiológica, la monitorización del personal, la notificación de incidentes y cuasi accidentes, la GC, la seguridad durante el trabajo en la sala de moldes, la dosis de radiación de los pacientes y el personal y los riesgos conexos;

— Procedimientos vinculados al equipo, por ejemplo, procedimientos para la notificación inmediata de un fallo del equipo al personal técnico;

— Procedimientos relacionados con los tratamientos de los pacientes, por ejemplo, para la atención de los pacientes con necesidades especiales y el examen de la información dosimétrica anotada en los registros de los pacientes;

— Protocolos y procedimientos asociados con la mejora de la calidad del servicio, el flujo de trabajo, la productividad del personal, el funcionamiento seguro de los nuevos equipos y sistemas de información y la capacitación del personal.

ii) Establecimiento de programas de GC y realización del CC de todos los generadores de radiación (todas las unidades de tratamiento e imaginología de radioterapia), los SPT, las redes de radioterapia, por ejemplo, los sistemas de registro y verificación, y el equipo de dosimetría (cámaras de ionización y otros detectores, electrómetros, maniqués, escáneres, etc.): una de las tareas principales de GC en radioterapia es la calibración de las fuentes de radiación. Los FMCC se encargan de calibrar las unidades de radiación y las fuentes de braquiterapia con arreglo a protocolos o códigos de práctica de dosimetría bien establecidos, y de garantizar la conformidad del equipo de radioterapia con las reglamentaciones y recomendaciones nacionales e internacionales. También verifican la exactitud de los SPT y realizan el CC de los planes de tratamiento individual empleando métodos o sistemas de cálculo de dosis independientes.

- iii) Realización de evaluaciones de riesgos y determinación de emergencias radiológicas potenciales, como incidentes resultantes de desperfectos del equipo, de errores humanos o de la pérdida de fuentes radiactivas: Los FMCC elaboran planes de acción que deben cumplirse en caso de que ocurran tales incidentes y llevan a cabo ejercicios para verificar que pueden ejecutarse correctamente. En general, los FMCC tratan de hallar formas para reducir al mínimo los riesgos en cada caso, adoptan procesos de examen por homólogos obligatorios, aplican métodos para la mejora continua de la calidad, y participan en auditorías externas siempre que sea posible.
 - iv) Investigación de exposiciones médicas no intencionadas o accidentales: Los FMCC cumplen responsabilidades en el análisis de todos los incidentes asociados con fallos del equipo, accidentes, errores u otros sucesos imprevistos que podrían coadyuvar a que los pacientes reciban una exposición notablemente diferente, más alta o más baja, de la estipulada. Los FMCC responden a consultas sobre las dosis recibidas por los pacientes o el personal y sobre sus riesgos conexos, y recomiendan medidas para minimizar la probabilidad de que ocurran nuevos accidentes.
- f) *Colaboración con otros profesionales clínicos:* Los FMCC son miembros clave del grupo de profesionales clínicos, incluidos los facultativos médicos, los tecnólogos y el personal de enfermería, que trabajan juntos en el tratamiento de enfermedades malignas. La contribución de los FMCC al respecto comprende lo siguiente:
- i) Consulta con facultativos médicos de radiooncología sobre casos de pacientes con objeto de establecer la técnica de tratamiento óptima, incluso ayudas y accesorios para la colocación e inmovilización de los pacientes, y modificadores de haces que puedan requerirse y fabricarse para obtener los mejores resultados: los FMCC realizan evaluaciones de planes de tratamiento y presentan propuestas para optimizarlos.
 - ii) Colaboración con el personal técnico en el ajuste, la administración correcta del tratamiento y la dosimetría de los pacientes: Las modalidades avanzadas de tratamiento, sobre todo durante la aplicación inicial, pueden requerir una colaboración más intensa, por ejemplo, la radioterapia de intensidad modulada (IMRT) y la IGRT. Algunas modalidades, por ejemplo, la radiocirugía estereotáctica y la braquiterapia de próstata mediante implante de semillas, requieren la presencia física del FMCC durante el procedimiento.
 - iii) Los sistemas integrales de gestión de calidad exigen que el FMCC presente aportaciones en reuniones de examen por homólogos

periódicas, por ejemplo, en conferencias destinadas a la revisión de películas y la planificación del tratamiento de nuevos pacientes.

4.2. IMAGINOLOGÍA

Los adelantos en la imaginología posibilitan la adquisición de información muy exacta y precisa sobre la anatomía, fisiología y funcionalidad de los distintos órganos del cuerpo del paciente. Las imágenes de pacientes pueden adquirirse utilizando técnicas de imaginología de rayos X convencionales o digitales, ultrasonografía o MRI y equipo de imaginología de medicina nuclear.

Los FMCC son un elemento importante del grupo que trabaja en la DIR y en la medicina nuclear. Cumplen responsabilidades en la optimización de la dosis y la calidad de la imagen en la imaginología, incluidos los procedimientos diagnósticos e intervencionistas. Los FMCC colaboran con facultativos médicos y tecnólogos para interpretar y optimizar los aspectos técnicos de los diferentes métodos de adquisición y visualización de imágenes. En la actual era digital, los FMCC tienen una función importante que desempeñar en tareas de imaginología complicadas, ayudando a los facultativos médicos y tecnólogos en la selección del protocolo óptimo de procesamiento posterior y en la optimización de la presentación y visualización de imágenes digitales. También se ocupan de la seguridad de los pacientes y realizan tareas de investigación y enseñanza.

Debido a las diferencias tecnológicas que existen entre la imaginología y los materiales radiactivos y los rayos X, las funciones y responsabilidades de los FMCC en medicina nuclear y DIR, respectivamente, se examinan por separado en esta sección.

4.2.1. Medicina nuclear

La medicina nuclear es la disciplina médica que utiliza fuentes radiactivas no selladas para una diversidad de aplicaciones diagnósticas y terapéuticas. Los procedimientos de medicina nuclear emplean radioisótopos puros o radioisótopos para marcar una molécula específica (por ejemplo, anticuerpos monoclonales y péptidos) con objeto de formar un radiofármaco que se administra a los pacientes por vía intravenosa u oral. El cuerpo metaboliza el radiofármaco como si fuera una sustancia “normal”, la distribución del radionucleido en el cuerpo se mide con un detector externo y los datos adquiridos se transforman en imágenes y se analizan. El proceso posibilita la visualización o seguimiento de la función del órgano (incluso a nivel molecular) a fin de diagnosticar la enfermedad, y puede propiciar la pronta detección de anomalías. En la actualidad la medicina nuclear

se ocupa en su mayoría del diagnóstico y por este motivo se suele clasificar dentro de la imaginología diagnóstica.

Los principales campos de aplicación de la medicina nuclear son la oncología, la cardiología y las neurociencias. Las aplicaciones terapéuticas se relacionan principalmente con el tratamiento del cáncer y procedimientos de laboratorio como la determinación de marcadores de tumores, aplicaciones de biología molecular y nuevas técnicas para la evaluación de la expresión genética en varias enfermedades.

Los FMCC contribuyen en la medicina nuclear a la aplicación y optimización de procedimientos clínicos para el diagnóstico y tratamiento basados en radionucleidos. Cumplen responsabilidades en la gestión y la dosimetría de todas las fuentes radiactivas y en la planificación de las aplicaciones terapéuticas, la GC de los procesos y el equipo de medición, y la seguridad y protección radiológicas de los pacientes, los miembros del personal y el público. También analizan los datos para determinar variables fisiológicas como las tasas metabólicas y la circulación sanguínea. Su conocimiento se aplica al desarrollo y optimización de nuevas técnicas de imaginología y desempeñan un papel importante en la adopción, aplicación, desarrollo, uso seguro y optimización de tecnologías avanzadas. La actuación de los físicos médicos en la medicina nuclear es fundamental para la prestación de un servicio seguro y cualificado. Por tanto, su capacitación científica y práctica debería incluir un conocimiento profundo de la fisiología, la radiobiología y los métodos matemáticos relacionados con la imaginología.

A continuación se indican las principales responsabilidades y funciones de los FMCC en la medicina nuclear (resumidas en el cuadro 2):

- a) *Diseño de la instalación, especificación técnica, aceptación y puesta en servicio del equipo, incluido el establecimiento de criterios para un funcionamiento aceptable:* Dentro de la especificación técnica, la aceptación, la puesta en servicio y la supervisión del funcionamiento adecuado de la instalación y su equipo y el establecimiento de criterios para su funcionamiento aceptable deberán tenerse en cuenta las siguientes funciones y obligaciones:
 - i) Los FMCC constituyen un elemento indispensable del grupo de diseño de las nuevas instalaciones. Son responsables de los diseños del blindaje y el montaje de las instalaciones de medicina nuclear nuevas o modificadas, y garantizan que se cumplan todos los requisitos de seguridad. Calculan e indican el espesor, la composición del material y la ubicación del blindaje necesario para proteger a los pacientes, el personal y el público en general, diseñan el sistema para la gestión de isótopos y desechos radiactivos y garantizan que se cumplan todos

los requisitos de seguridad y funcionalidad. También verifican la idoneidad del blindaje después de la instalación.

- ii) Los FMCC desempeñan un papel destacado en la preparación de las especificaciones del equipo según las necesidades de la instalación de medicina nuclear y participan en la evaluación de ofertas y la recomendación de compras de equipo. Analizan los requisitos funcionales para el uso clínico y especifican las condiciones necesarias para la integración, compatibilidad y conectividad al equipo existente del equipo que se habrá de comprar.
 - iii) Tras la instalación del nuevo equipo, los FMCC se encargan de especificar las normas básicas que se aplicarán para su aceptación y ulterior puesta en servicio. Aseguran que todas las unidades y sistemas funcionen conforme a su especificación técnica y proporcionan asesoramiento sobre cualquier desviación del funcionamiento del equipo de los criterios aceptables, incluidas orientaciones sobre la retirada del servicio cuando proceda. Los FMCC también cumplen la responsabilidad, a menudo en colaboración con ingenieros informáticos, de verificar los sistemas informáticos; ayudan a los facultativos médicos en la evaluación de los algoritmos de imaginología o diagnóstico para su uso clínico seguro y eficaz. Se encargan de autorizar el uso clínico del equipo de imaginología y la instrumentación después del procedimiento de mantenimiento.
- b) *Seguridad y protección radiológicas de los pacientes, el personal y el público en general:* Los FMCC cumplen responsabilidades en la elaboración y aplicación del programa de seguridad radiológica clínica para la protección radiológica de los pacientes en medicina nuclear. En la mayoría de los casos, empero, también asumen responsabilidades para la seguridad radiológica del personal y el público en lo que se refiere al servicio y la infraestructura de medicina nuclear. Los FMCC se encargan de elaborar los procedimientos necesarios para comprobar la integridad del equipo y las fuentes radiactivas así como el funcionamiento adecuado del equipo. Establecen políticas y procedimientos para el transporte seguro de estos radionucleidos, para las precauciones en caso de contaminación o derrame de radionucleidos no sellados, y para la gestión de desechos radiactivos con arreglo a lo dispuesto en las reglamentaciones. Los FMCC cumplen responsabilidades con respecto al alta de un paciente tras la terapia con radionucleidos basándose en la exposición potencial del público. Cumplen responsabilidades en lo que concierne a la comunicación con los pacientes para impartirles instrucciones que puedan minimizar aún más la exposición de sus familiares y el público después del alta.

- c) *Dosimetría interna de los pacientes:* Los FMCC se encargan de establecer procedimientos para el cálculo y verificación de la dosis de radiación recibida por distintos órganos internos, así como la dosis efectiva total del paciente debida a la administración de la actividad de radionucleidos. También se encargan de verificar la exactitud de esos cálculos. Entre las tareas relacionadas con la dosimetría de los pacientes se incluyen las siguientes:
- i) Mediciones de la actividad y cálculo de las dosis absorbidas: Los FMCC emplean los datos de distribución de la actividad y la metodología de dosimetría interna para estimar la dosis absorbida por los pacientes durante distintos procedimientos clínicos. Para ello se requiere el uso de modelos manuales o informatizados y/o mediciones de maniqués. Es necesario establecer un criterio sobre la aplicabilidad de los modelos utilizados y la capacidad para sintetizar nuevos modelos, así como conocimientos para estimar las incertidumbres de la dosimetría.
 - ii) Cálculos específicos de dosis de pacientes: Los FMCC se encargan de la medición y/o el cálculo de la dosis individual de los pacientes, así como de las dosis fetales en casos en que se descubre que las pacientes están embarazadas; ello es particularmente importante en las aplicaciones terapéuticas en que se hace necesaria la dosimetría para cada paciente. También establecen tolerancias y formulan valoraciones sobre la idoneidad de los datos medidos, incluso prestan asesoramiento al facultativo médico y al paciente sobre cualesquiera riesgos conexos, especialmente los relacionados con la inducción del cáncer.
- d) *Optimización de los aspectos físicos de los procedimientos diagnósticos:* Los FMCC cumplen responsabilidades en la optimización de los aspectos físicos de los sistemas de imaginología (cámaras gamma, tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT), tomografía por emisión de positrones (PET), estas dos últimas a menudo combinadas con tomografía computarizada (CT), etc.). Se encargan de la elaboración y el mantenimiento del programa de gestión de calidad de todo el equipo de imaginología con el fin de producir imágenes de calidad óptima y minimizar al mismo tiempo la dosis de radiación administrada a los pacientes. Los FMCC también se encargan del equipo y la instrumentación necesarios para garantizar el adecuado CC, la calidad óptima de la imagen, la monitorización de la exposición del paciente y la determinación de la dosis a determinados órganos derivada de distintos procedimientos de imaginología de medicina nuclear, así como el uso de las directrices y técnicas apropiadas. También pueden ayudar a los facultativos médicos en

la evaluación de la eficacia del examen y participan en estudios sobre la calidad y percepción de la imagen.

e) *Gestión de calidad de los aspectos físicos y técnicos de la medicina nuclear:* Los FMCC participan como miembros del grupo en el establecimiento del programa de gestión de calidad y se encargan de los aspectos físicos y técnicos. Entre las tareas afines figuran las siguientes:

i) Elaboración de políticas y procedimientos institucionales para la continua optimización del uso de las radiaciones, lo que incluye la responsabilidad de redactar nuevas políticas y procedimientos, o actualizar los establecidos, en relación con lo siguiente:

— Políticas y procedimientos institucionales relacionados con la mejora de la calidad del servicio, la productividad del personal, la manipulación de nuevos equipos y sistemas de información y la capacitación del personal;

— Imaginología y tratamiento de los pacientes, por ejemplo, de niños o pacientes que requieren atención especial, y revisión de historias clínicas e inmediata notificación de cualquier resultado anómalo al facultativo médico responsable;

— Seguridad radiológica, como por ejemplo, procedimientos asociados con la protección radiológica, la monitorización del personal, la comunicación de incidentes y accidentes, la GC, la manipulación segura de fuentes radiactivas, los desechos radiactivos y la dosis de radiación del personal y riesgos conexos;

— Incidentes de radiación y notificaciones de emergencia.

ii) Establecimiento de programas de GC que permitan asegurar que se apliquen las políticas y los procedimientos y que existan elementos apropiados de buenas prácticas para la manipulación del material radiactivo, la protección radiológica de los pacientes y el CC y la conformidad reglamentaria del equipo, por ejemplo:

— Establecimiento y aplicación de procedimientos de CC periódicos para verificar que los parámetros técnicos de funcionamiento del equipo de imaginología se mantienen dentro de un margen de variación aceptable con respecto a los valores de referencia.

— Calibración de los detectores de radiación y el equipo empleado para medir la actividad de las fuentes radiactivas y los radionucleidos antes de que se utilicen clínicamente: Los FMCC se encargan de la GC del equipo de conformidad con las directrices recomendadas.

— Establecimiento de procedimientos para la preparación de radiofármacos administrados a pacientes para fines diagnósticos o terapéuticos: Los FMCC diseñan procesos de CC a fin de asegurar

la ausencia de trazas de contaminantes que puedan causar daños a los pacientes. También realizan cálculos con el fin de determinar la actividad necesaria para los procedimientos terapéuticos y se encargan de la dosimetría de los pacientes.

- iii) Realización de evaluaciones de riesgos y determinación de emergencias radiológicas potenciales, como incidentes resultantes de desperfectos del equipo, errores humanos, derrames radiactivos o pérdidas de fuentes radiactivas: Los FMCC elaboran los procedimientos de acción que se habrán de seguir ante tales incidentes y realizan ejercicios para verificar que los procedimientos pueden aplicarse correctamente. En general, los FMCC tratan de hallar medios de minimizar el riesgo en cada caso, adoptar procesos de examen por homólogos obligatorios, aplicar métodos de mejora continua de la calidad y participar en auditorías externas de carácter voluntario siempre que sea posible.
 - iv) Investigación de exposiciones no intencionadas o accidentales: Los FMCC cumplen responsabilidades en el análisis de todos los incidentes asociados con fallos del equipo, accidentes, errores u otros sucesos inesperados que pudieran provocar que los pacientes recibieran una exposición muy diferente de la prevista. Los FMCC responden a consultas sobre las dosis recibidas por los pacientes o el personal y sobre sus riesgos conexos, y recomiendan medidas para minimizar la probabilidad de que ocurran nuevos accidentes.
- f) *Colaboración con otros profesionales clínicos:* Los FMCC son miembros clave del grupo de profesionales clínicos, incluidos los facultativos médicos, tecnólogos, radiofarmacéuticos o radioquímicos y el personal de enfermería, que trabajan juntos para el diagnóstico y/o el tratamiento de pacientes. La contribución de los FMCC al respecto comprende lo siguiente:
- i) Consultas con facultativos médicos especialistas en medicina nuclear sobre casos especiales en que las pruebas diagnósticas o el tratamiento requieren acciones suplementarias a las establecidas de manera ordinaria: La colaboración entre los facultativos médicos y los físicos médicos ayuda a establecer el enfoque óptimo para cada caso.
 - ii) Supervisión de tecnólogos en la aplicación de nuevos procedimientos clínicos y participación como miembros clave del grupo encargado de implantar los nuevos procedimientos de imagenología o terapéuticos en la institución: Los FMCC también se encargan de elaborar métodos para la GC de los nuevos procedimientos.

4.2.2. Radiología diagnóstica e intervencionista

Los aspectos de la DIR entrañan la utilización de rayos X para producir imágenes morfológicas o funcionales del cuerpo humano sobre la base de las propiedades de atenuación de los rayos X en los diversos tejidos. En tales procedimientos se emplean con frecuencia medios de contraste para mejorar la imagen entre las estructuras vasculares y los tejidos circundantes o entre los distintos órganos o histologías. En los procedimientos intervencionistas, las imágenes de rayos X suelen ayudar a orientar al operador durante la colocación de los catéteres, espirales, stents, etc., colocados con la intención de obtener información diagnóstica o un efecto terapéutico del procedimiento. Los rayos X se utilizan para diagnosticar un vasto espectro de condiciones patológicas en el cuerpo. Debido a la diferente atenuación de los rayos X diagnósticos en los órganos o tejidos, y como la imaginología con rayos X permite una resolución espacial muy alta, la imaginología con rayos X es la técnica preferida para obtener imágenes de la densidad y las diferencias de composición. La presentación de imágenes de rayos X puede hacerse en una proyección bidimensional, en imágenes de cortes tomográficos o en volúmenes reconstruidos en tres dimensiones (técnicas tomográficas). Las imágenes de fluoroscopia se presentan en tiempo (casi) real. Estos sistemas se emplean principalmente en procedimientos quirúrgicos, angiográficos e intervencionistas. La imaginología con rayos X es con mucho el método imaginológico utilizado con más frecuencia en las aplicaciones médicas y por ello también representa el grueso de las dosis de radiación administradas a los pacientes en la exposición médica.

Los FMCC en la DIR contribuyen a la aplicación y optimización de los procedimientos de imaginología clínica que utilizan rayos X; la optimización de la calidad de la imagen frente a la dosis de radiación es una tarea fundamental para los físicos médicos en esta esfera. Ellos son responsables de la dosimetría del paciente sometido a cualquier modalidad de imaginología con rayos X y de los procedimientos de GC de tales sistemas. Esto incluye todos los componentes de equipo y programas informáticos utilizados para obtener las imágenes de rayos X que los facultativos médicos especialistas en radiología utilizan para la evaluación diagnóstica de los exámenes de los pacientes. Los FMCC también cumplen responsabilidades con respecto a la seguridad radiológica y protección de los pacientes, los miembros del personal y el público en relación con el uso de los rayos X en los procedimientos de DIR. Su conocimiento se aplica al desarrollo y optimización de las nuevas técnicas imaginológicas y desempeñan un importante papel en la adopción, el desarrollo, la aplicación, el uso seguro y la optimización de técnicas avanzadas. La actuación de los físicos médicos en la imaginología diagnóstica e intervencionista con rayos X es fundamental para prestar un servicio seguro y cualificado. De ahí que su capacitación deba incluir

un amplio conocimiento de anatomía y fisiología, procesamiento de imágenes y métodos matemáticos empleados para la reconstrucción de imágenes.

A continuación se enumeran las principales responsabilidades y funciones de los FMCC en la DIR (resumidas en el cuadro 2):

- a) *Diseño de la instalación, especificación técnica, aceptación y puesta en servicio del equipo, incluido el establecimiento de criterios para su funcionamiento aceptable:* Dentro de la especificación técnica, la aceptación, la puesta en servicio y la supervisión del funcionamiento adecuado del equipo, y el establecimiento de criterios para su funcionamiento aceptable, deben considerarse las siguientes funciones y obligaciones:
 - i) Los FMCC son un elemento fundamental del grupo de diseño de las nuevas instalaciones. Son responsables del diseño del blindaje y la instalación de las salas de radiología nuevas o modificadas y garantizan que se cumplan todos los requisitos de seguridad. Calculan e indican el espesor, la composición del material y la ubicación del blindaje necesario para proteger a los pacientes, el personal y el público en general, y supervisan la construcción, garantizando así que se satisfagan todos los requisitos de seguridad y funcionalidad. También verifican la idoneidad del blindaje después de la instalación.
 - ii) Los FMCC desempeñan un papel preponderante en la preparación de las especificaciones del equipo y participan en la evaluación de ofertas y en la recomendación de compras de equipo. Analizan los requisitos funcionales para el uso clínico y especifican las condiciones necesarias para la integración, la compatibilidad y la conectividad del equipo que se va a comprar.
 - iii) Tras la instalación del nuevo equipo, o después de cualquier cambio o mantenimiento importante, los FMCC se encargan de especificar las normas básicas que se habrán de aplicar para su aceptación y ulterior puesta en servicio. Garantizan que todas las unidades y sistemas funcionen según sus especificaciones técnicas y prestan asesoramiento sobre cualquier desviación del rendimiento del equipo de los criterios aceptables, incluso orientaciones sobre la retirada del servicio cuando proceda. Los FMCC también cumplen la responsabilidad, a menudo en colaboración con ingenieros informáticos, de verificar los sistemas informáticos; prestan asistencia a los facultativos médicos en la evaluación de imágenes o algoritmos de diagnóstico para su uso clínico seguro y eficaz.
- b) *Seguridad y protección radiológicas de los pacientes, el personal y el público en general:* Los FMCC cumplen responsabilidades en la

elaboración y aplicación del programa de seguridad radiológica clínica para la protección radiológica de los pacientes en aspectos en que se utiliza el equipo de DIR. En la mayoría de los casos, no obstante, también cumplen responsabilidades con respecto a la seguridad radiológica del personal y el público en lo que se refiere al servicio y la infraestructura de radiología. Los FMCC se encargan de elaborar procedimientos para comprobar la integridad del equipo y los accesorios, así como el funcionamiento adecuado del equipo de dosimetría y otros elementos de seguridad. Participan además en la investigación de incidentes en que interviene la radiación y presentan el informe y la documentación apropiados.

- c) *Dosimetría de los pacientes*: Los FMCC se encargan de establecer procedimientos para el cálculo y verificación de la dosis de radiación recibida por el paciente. Entre sus funciones se cuentan las mediciones dosimétricas, así como la elaboración de métodos para analizar los resultados de las mediciones y verificar la exactitud de las dosis administradas a los pacientes. En casos especiales, esas funciones también suponen cálculos de la dosis individual de los pacientes. Entre las tareas relacionadas con la dosimetría de los pacientes figuran las siguientes:
- i) *Mediciones y cálculo de dosis absorbidas*: Los FMCC utilizan los datos adquiridos durante la puesta en servicio y la información de las mediciones dosimétricas para estimar la dosis absorbida por los pacientes durante diferentes procedimientos clínicos, lo que requiere el uso de cálculos analíticos, modelos informáticos o mediciones en maniqués. Es necesario establecer criterios respecto de la aplicabilidad de los modelos empleados y la capacidad para sintetizar los nuevos modelos, así como conocimientos para estimar las incertidumbres dosimétricas.
 - ii) *Cálculos específicos de dosis de los pacientes*: Los FMCC se encargan de la medición y/o el cálculo de la dosis individual de los pacientes, así como de las dosis fetales en los casos en que se descubre que las pacientes están embarazadas, lo que puede requerir mediciones detalladas. Establecen tolerancias y formulan valoraciones sobre la idoneidad de los datos medidos, incluso prestan asesoramiento al facultativo médico y al paciente sobre cualesquiera riesgos conexos, especialmente los relacionados con la inducción del cáncer.
 - iii) *Estimaciones de dosis de los pacientes para establecer niveles de referencia diagnósticos (DRL) o para verificar la conformidad con DRL recomendados en las reglamentaciones nacionales o internacionales*: Los FMCC cumplen responsabilidades en relación con el examen de los procedimientos y el equipo cuando los DRL se superan constantemente en los procedimientos normalizados.

- d) *Optimización de los aspectos físicos de los procedimientos diagnósticos e intervencionistas:* Los FMCC cumplen responsabilidades en la optimización de los aspectos físicos y técnicos de los distintos procesos empleados para producir imágenes médicas y el equipo de imaginología necesario (unidades analógicas y digitales de rayos X, TC, unidades de angiografía, etc.). También ayudan a los facultativos médicos a evaluar la eficacia del examen y participan en estudios sobre la calidad y percepción de la imagen.
- e) *Gestión de calidad de los aspectos físicos y técnicos:* Los FMCC participan como miembros del grupo en el establecimiento del programa de gestión de calidad y asumen la responsabilidad de los aspectos físicos y técnicos. Son fundamentalmente responsables de elaborar y aplicar procedimientos para la evaluación inicial y continua del equipo de DIR, así como para la calibración del equipo de dosimetría. Entre las tareas afines figuran las siguientes:
- i) Elaboración de políticas y procedimientos institucionales para la constante optimización del uso de las radiaciones, que comprende la responsabilidad de redactar nuevas políticas y procedimientos, o actualizar los establecidos, en relación con:
 - Políticas y procedimientos asociados con objetivos como la mejora de la calidad del servicio, la productividad del personal, la manipulación de equipo y sistemas de información nuevos y la capacitación del personal;
 - Procedimientos relacionados con investigaciones de los pacientes, por ejemplo, de pacientes con necesidades especiales, y examen de la información dosimétrica de los pacientes y notificación inmediata de cualquier resultado anómalo al facultativo médico responsable;
 - Procedimientos asociados con la seguridad, como por ejemplo, procedimientos vinculados a la protección radiológica, la monitorización del personal, la comunicación de incidentes y accidentes, la GC y la dosis de radiación de los pacientes y el personal y los riesgos conexos;
 - Procedimientos relacionados con el equipo para la notificación inmediata de fallos del equipo al personal técnico.
 - ii) Establecimiento de un programa de GC para verificar, ajustar y aceptar los niveles de referencia iniciales de los parámetros de calidad óptima de la imagen y el estado de referencia inicial del equipo de imaginología: Ello comprende el desarrollo y ejecución del CC y la obligación de asegurar que se lleven a cabo mediciones de CC periódicas de las unidades de rayos X y el equipo conexo de visualización de imágenes,

procesamiento, almacenamiento e impresión. Los FMCC también se encargan de garantizar la conformidad del equipo de imagenología con las reglamentaciones y recomendaciones del gobierno y el organismo de acreditación.

- iii) Realización de evaluaciones de riesgos y determinación de posibles emergencias radiológicas, como incidentes debidos a desperfectos del equipo o errores humanos: Los FMCC elaboran los procedimientos de acción que se habrán de aplicar ante tales incidentes y llevan a cabo ejercicios para verificar que los procedimientos pueden aplicarse correctamente.
 - iv) Investigación de exposiciones médicas no intencionadas o accidentales, como sucesos centinela en radiología intervencionista: Los FMCC responden a consultas sobre las dosis recibidas por los pacientes o el personal y sobre los riesgos conexos, y recomiendan medidas para minimizar la probabilidad de que ocurran nuevos accidentes.
- f) *Colaboración con otros profesionales clínicos:* Los FMCC son miembros clave del grupo de profesionales clínicos, entre ellos, facultativos médicos especialistas en radiología y otros especialistas clínicos, tecnólogos y personal de enfermería que trabajan juntos en el diagnóstico y tratamiento de los pacientes. La contribución de los físicos médicos a este respecto comprende lo siguiente:
- i) Consultas de asesoramiento a facultativos médicos sobre casos especiales de pacientes que pueden presentarse durante los procedimientos diagnósticos o intervencionistas que requieren acciones adicionales a las establecidas de ordinario: La colaboración entre los facultativos médicos y los FMCC ayuda a determinar el enfoque óptimo para cada caso.
 - ii) Supervisión de los tecnólogos en la aplicación de los nuevos procedimientos clínicos, actuando como miembros clave del grupo encargado de implantar los nuevos procedimientos clínicos en la institución: Los FMCC también se encargan de elaborar métodos para la GC de los nuevos procedimientos.

4.2.3. Otros ámbitos de la imagenología

Esta sección trata sobre la función y las responsabilidades del físico médico en las especialidades médicas de MRI y ultrasonografía. A diferencia de las radiaciones ionizantes producidas por generadores y fuentes radiactivas examinadas hasta el momento en la presente publicación, la MRI y la ultrasonografía no ionizan los tejidos de los pacientes cuando la radiación

electromagnética de la radiofrecuencia o las ondas ultrasónicas, respectivamente, depositan energía en el cuerpo humano. Por tanto, en estas modalidades de imaginología no se requiere la dosimetría de las radiaciones de los pacientes, aunque deben realizarse otras mediciones físicas y técnicas. Las responsabilidades de los FMCC con respecto a la enseñanza y capacitación de otros profesionales clínicos no difieren de las que se han indicado en relación con las radiaciones ionizantes. Sin embargo, los parámetros físicos, cantidades y metodología empleados para la producción de imágenes con unidades de MRI y ultrasonografía son distintos de los examinados en el caso de las radiaciones ionizantes. En consecuencia, las funciones y responsabilidades de los FMCC en la obtención de imágenes de los pacientes, la investigación y el desarrollo de aplicaciones de la MRI y la ultrasonografía son específicas de estas modalidades de imaginología. A continuación se reseñan los aspectos de mayor interés.

4.2.3.1. *Imaginología por resonancia magnética*

- a) *Investigación, desarrollo y enseñanza:* Los FMCC aplican su conocimiento del proceso de resonancia magnética a la investigación en la imaginología clínica basada en el uso de campos magnéticos y energía de radiofrecuencia. Apoyan los aspectos técnicos de la investigación clínica y suelen desempeñar un papel preponderante en el grupo de investigación médica. En los centros especializados de alta complejidad técnica, los FMCC realizan actividades de investigación y desarrollo de los instrumentos de MRI y conexos (por ejemplo, desarrollo de nuevas secuencias de impulsos y bobinas para lograr imágenes óptimas). Los FMCC desempeñan un importante papel en la elaboración de protocolos clínicos de investigaciones aplicadas, así como en la enseñanza del personal clínico sobre la resonancia magnética y las cuestiones y requisitos de seguridad relacionados con el equipo de MRI.
- b) *Seguridad y protección de los pacientes, el personal y el público en general:* Los FMCC se encargan de la elaboración y aplicación del programa de seguridad clínica y de la comprobación de la integridad del equipo y los accesorios de MRI, así como de la protección de los pacientes. Se encargan de evaluar los riesgos biofísicos del equipo de MRI, de medir los campos magnéticos marginales y de establecer procedimientos para el examen de los pacientes y el personal con el fin de determinar la presencia de materiales ferrosos, de asesorar a los pacientes sobre las cuestiones de seguridad relacionadas con los campos magnéticos (sobre todo los pacientes con implantes y marcapasos), de colaborar en la elaboración de las medidas de protección contra incendios y otros procedimientos de emergencia, de instaurar procedimientos de seguridad para diversas intensidades de campos magnéticos y de determinar zonas controladas y establecer los

controles administrativos necesarios para que la MRI cumpla con las normas de seguridad. En la mayoría de los casos, los FMCC también se encargan de la seguridad del personal y el público. También participan en la investigación de incidentes asociados a la MRI y presentan el informe y la documentación apropiados.

- c) *Diseño de la instalación, especificación técnica, aceptación y puesta en servicio del equipo, incluido el establecimiento de criterios para su funcionamiento aceptable:* Dentro de la especificación técnica, la aceptación, la puesta en servicio y la supervisión del funcionamiento adecuado del equipo y el establecimiento de criterios para su funcionamiento aceptable, deberán tenerse en cuenta las siguientes funciones y obligaciones:
- i) Los FMCC constituyen un elemento indispensable del grupo de diseño de las nuevas instalaciones de MRI. Se encargan de garantizar que se cumplan los requisitos de integración y compatibilidad con otros equipos y unidades, así como todos los requisitos de seguridad y de uniformidad de los campos magnéticos. También verifican que el tubo de ventilación necesario para la transferencia de gas helio inerte a la atmósfera abierta en caso de un accidente de evaporación masiva tiene el diámetro y longitud correctos según los planes de construcción de la instalación.
 - ii) Los FMCC desempeñan un papel principal en la preparación de las especificaciones del equipo y participan en la evaluación de ofertas y la recomendación de compras de equipo. Analizan los requisitos funcionales para el uso clínico y especifican las condiciones para la integración, compatibilidad y conectividad del equipo que se va a comprar.
 - iii) Los FMCC se encargan de supervisar la instalación del nuevo equipo y de especificar las normas básicas que se habrán de aplicar para su aceptación y puesta en servicio ulterior. Elaboran procedimientos de aceptación y puesta en servicio para que los sistemas funcionen correctamente. Garantizan que todas las unidades y sistemas funcionen de conformidad con sus especificaciones técnicas y proporcionan asesoramiento sobre cualquier desviación del funcionamiento del equipo de los criterios aceptables, incluidas orientaciones sobre la retirada del servicio cuando proceda. Los FMCC también cumplen la responsabilidad, a menudo en colaboración con ingenieros informáticos, de verificar los sistemas informáticos; ayudan a los facultativos médicos a evaluar las imágenes o los algoritmos de diagnóstico para su uso clínico seguro y eficaz. Establecen procedimientos para la aplicación de técnicas especiales (por ejemplo,

espectroscopia y resonancia magnética funcional) antes de que se apliquen en la clínica.

- iv) Los FMCC se encargan de la supervisión técnica del mantenimiento del equipo y de la posterior verificación de su funcionamiento, de registrar los resultados de las pruebas realizadas, y de autorizar el uso clínico del equipo cuando los resultados están en los límites aceptables o son compatibles con los valores de referencia obtenidos durante el proceso de aceptación.
- d) *Optimización de los aspectos físicos y técnicos de los procedimientos de imaginología:* Los FMCC se encargan de optimizar los aspectos físicos y técnicos del proceso de MRI y el equipo utilizado para producir imágenes médicas. Ello incluye la optimización de las secuencias de impulsos y la selección de bobinas cuando sea necesario para mejorar las imágenes de distintos tejidos y órganos del cuerpo humano. Los FMCC también ayudan a los facultativos médicos a evaluar el examen y participan en los estudios sobre la calidad y percepción de las imágenes.
- e) *Gestión de calidad de los aspectos físicos y técnicos de la MRI:* Los FMCC participan como miembros del grupo en el establecimiento del programa de gestión de calidad y son responsables de los aspectos físicos y técnicos. Se encargan principalmente de elaborar y aplicar procedimientos para la evaluación inicial y continua del equipo de MRI. Entre las tareas afines figuran las siguientes:
 - i) Elaboración de políticas y procedimientos institucionales para el uso óptimo de la MRI, lo que comprende la responsabilidad de redactar nuevas políticas y procedimientos, o actualizar los establecidos:
 - Políticas y procedimientos vinculados a objetivos como la mejora de la calidad del servicio, de la productividad del personal, de la manipulación del nuevo equipo y los sistemas de información y de la capacitación del personal;
 - Procedimientos asociados a investigaciones de los pacientes, por ejemplo, para la atención de pacientes que requieren atención especial, y revisión de historias clínicas e inmediata notificación de cualquier resultado anómalo al facultativo médico responsable;
 - Procedimientos relacionados con la seguridad, por ejemplo, procedimientos vinculados a pacientes con marcapasos, notificación de incidentes y accidentes, GC, intensidad de campos magnéticos alrededor del magneto y riesgos conexos;
 - Procedimientos asociados al equipo, por ejemplo, para la inmediata notificación de fallos del equipo al personal técnico.
 - ii) Establecimiento de un programa de GC y los procesos de CC necesarios, tanto para el equipo de MRI como para los sistemas

conexos utilizados para la visualización de imágenes, incluidos los sistemas de almacenamiento y transferencia de imágenes: Los FMCC se encargan de establecer y aceptar los valores de referencia iniciales de los parámetros de calidad de la imagen y el estado de referencia inicial del equipo de imaginología, y de garantizar que se lleven a cabo mediciones periódicas de CC a fin de verificar el funcionamiento ininterrumpido del equipo. También se encargan de velar por la conformidad del equipo de MRI con las reglamentaciones y recomendaciones del gobierno y el organismo de acreditación.

- f) *Colaboración con otros profesionales clínicos:* Los FMCC son miembros clave del grupo de profesionales, incluidos los facultativos especialistas en resonancia magnética, los tecnólogos y el personal de enfermería que colaboran juntos en el diagnóstico de los pacientes. La contribución de los físicos médicos a este respecto comprende lo siguiente:
- i) *Consulta con facultativos médicos sobre casos especiales:* Los físicos médicos consultan con los facultativos médicos sobre casos especiales que pueden presentarse durante los procedimientos diagnósticos de MRI. En los pacientes en que la exploración exige más que los métodos de diagnóstico ordinarios establecidos, la colaboración entre los facultativos médicos y los FMCC ayuda a determinar el enfoque óptimo para cada caso y proporcionar asesoramiento en materia de seguridad para lograr el mejor resultado en tales casos especiales.
 - ii) *Supervisión de tecnólogos en la aplicación de nuevos procedimientos clínicos:* Los FMCC son miembros clave del grupo encargado de implantar nuevos procedimientos de imaginología clínica en su institución. También se encargan de elaborar métodos para la GC de los nuevos procedimientos.

4.2.3.2. Ultrasonografía

- a) *Investigación, desarrollo y enseñanza:* Los FMCC aplican su conocimiento sobre la propagación de las ondas ultrasónicas en los tejidos humanos para realizar investigaciones de imaginología clínica basadas en el uso de equipo y sondas de ultrasonido. Desempeñan un importante papel en la elaboración de protocolos clínicos para la investigación aplicada, así como en la enseñanza del personal clínico sobre los principios y el uso del equipo de ultrasonografía para la imaginología.
- b) *Seguridad y protección de los pacientes, el personal y el público en general:* Los FMCC se encargan de elaborar y aplicar el programa de seguridad clínica y de comprobar la integridad del equipo, las sondas y otros accesorios de ultrasonografía. También se encargan de analizar y

prevenir posibles efectos biológicos o accidentes eléctricos que puedan estar asociados al uso de la ultrasonografía en los procedimientos clínicos, garantizando así la protección de los pacientes y el personal.

- c) *Diseño de la instalación, especificación técnica, aceptación y puesta en servicio del equipo, incluido el establecimiento de criterios para un funcionamiento aceptable:* Dentro de la especificación técnica, la aceptación, la puesta en servicio y la supervisión del funcionamiento adecuado del equipo y el establecimiento de criterios para su funcionamiento aceptable, deberán tenerse en cuenta las siguientes funciones y obligaciones:
- i) Los FMCC desempeñan un importante papel en la preparación de las especificaciones y los requisitos del equipo para la integración y compatibilidad de las nuevas unidades de ultrasonografía con otro equipo y participan en la evaluación de ofertas y la recomendación de compras de equipo. Analizan los requisitos funcionales para el uso clínico y aseguran que las especificaciones técnicas cumplan con los requisitos reglamentarios de seguridad.
 - ii) Los FMCC se encargan de la aceptación y puesta en servicio del nuevo equipo de ultrasonografía. Garantizan que las nuevas unidades de ultrasonografía funcionen de conformidad con sus especificaciones técnicas, obtienen valores de referencia de parámetros de imaginología para la comparación con futuras mediciones de CC y prestan asesoramiento sobre cualquier desviación del funcionamiento del equipo de los criterios aceptables, incluido asesoramiento sobre la retirada del servicio cuando proceda. Los FMCC también cumplen la responsabilidad, a menudo en colaboración con ingenieros informáticos, de verificar los sistemas informáticos; ayudan a los facultativos médicos a evaluar los algoritmos de imaginología o diagnóstico para su uso clínico seguro y eficaz.
 - iii) Los FMCC se encargan de la supervisión técnica del mantenimiento del equipo de ultrasonografía y de la verificación ulterior de su funcionamiento, del registro de los resultados de las pruebas realizadas, y de la autorización del uso clínico del equipo después de su mantenimiento preventivo o corrector. También cumplen la responsabilidad de mantener registros en cumplimiento de los reglamentos establecidos.
- d) *Optimización de los aspectos físicos y técnicos de los procedimientos de ultrasonografía:* Los FMCC se encargan de optimizar los aspectos físicos y técnicos de los procesos de ultrasonografía y del equipo utilizado para producir imágenes médicas. También ayudan a los facultativos médicos a evaluar el examen y participan en estudios sobre la calidad y percepción de la imagen.

- e) *Gestión de calidad de los aspectos físicos y técnicos de la ultrasonografía:* Los FMCC participan como miembros del grupo en el establecimiento del programa de gestión de calidad y asumen la responsabilidad de sus aspectos físicos y técnicos. Se encargan principalmente de elaborar y aplicar procedimientos para la evaluación inicial y continua del equipo de ultrasonografía. Entre las tareas afines figuran las siguientes:
- i) Elaboración de políticas y procedimientos institucionales para el uso óptimo de la ultrasonografía en la imaginología clínica, que incluye la responsabilidad de redactar nuevas políticas y procedimientos, o actualizar los existentes:
 - Políticas y procedimientos relacionados con objetivos, como la mejora de la calidad del servicio, la productividad del personal, la manipulación del nuevo equipo y los sistemas de información y la capacitación del personal;
 - Procedimientos asociados con el equipo, por ejemplo, para la notificación inmediata de fallos del equipo al personal técnico.
 - ii) Establecimiento del programa de GC y los procesos de CC necesarios, tanto para el equipo de ultrasonografía como para los sistemas conexos utilizados para la visualización de imágenes, incluidos sistemas de almacenamiento y transferencia de imágenes: Los FMCC se encargan de establecer y aceptar los valores de referencia iniciales de los parámetros de calidad de la imagen y el estado de referencia inicial del equipo de imaginología y de asegurar que se lleven a cabo mediciones de CC periódicas para verificar el funcionamiento ininterrumpido del equipo. También se encargan de garantizar la conformidad del equipo de ultrasonografía con las reglamentaciones y recomendaciones del gobierno y el organismo de acreditación.
- f) *Colaboración con otros profesionales clínicos:* Los FMCC son miembros clave del grupo de profesionales, entre ellos facultativos especialistas en ultrasonografía, tecnólogos y personal de enfermería que trabajan juntos en el diagnóstico de los pacientes. La contribución de los FMCC a este respecto comprende lo siguiente:
- i) Consulta con facultativos médicos sobre casos especiales: Los FMCC consultan con facultativos médicos sobre casos especiales que pueden presentarse durante los procedimientos de ultrasonografía diagnóstica. En los pacientes en que la exploración requiere más que los métodos de diagnóstico ordinarios establecidos, la colaboración entre los facultativos médicos y los FMCC ayuda a establecer el enfoque óptimo para cada caso.
 - ii) Supervisión de tecnólogos en la aplicación de nuevos procedimientos clínicos: Los físicos médicos se encargan de supervisar la implantación

de nuevos procedimientos de imaginología clínica en su institución. También se encargan de elaborar métodos de CC para los nuevos procedimientos.

4.3. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA OCUPACIONAL Y DEL PÚBLICO

En las NBS [3] se asignan responsabilidades concretas al físico médico en relación con la exposición médica y la protección radiológica del paciente, ambas intrínsecamente asociadas con los procedimientos terapéuticos y diagnósticos basados en radiaciones ionizantes que se examinan en las secciones anteriores. En las NBS [3] también se introduce el término “oficial de protección radiológica” (OPR) para:

“una persona técnicamente competente en cuestiones de protección radiológica pertinentes en relación con un tipo de práctica dado y que es designada por el titular registrado, el titular de la licencia o el empleador para supervisar la aplicación de los requisitos pertinentes.”

En muchos medios clínicos, los físicos médicos cumplen responsabilidades no solo con respecto a la seguridad del paciente, sino también a la protección del personal y el público, así como a la seguridad de las fuentes radiactivas. Como señalan conjuntamente la IOMP y la Asociación Internacional de Protección Radiológica [10], todos los físicos médicos reciben capacitación adecuada en protección radiológica y, como parte de sus funciones asignadas, muchos actúan como OPR en instalaciones de salud y/o participan como miembros del comité de seguridad radiológica. Una de las especialidades de los físicos médicos es la física médica sanitaria (protección radiológica en medicina). Los físicos médicos capacitados en esta especialidad que trabajan sobre todo en grandes hospitales docentes cumplen las funciones de OPR, lo que puede requerir un nivel más alto de capacitación y más experiencia en materia de protección radiológica.

En la presente sección se señalan las funciones y responsabilidades principales de los FMCC en relación con la protección radiológica en el lugar de trabajo y con la seguridad del público. Se clasifican en dos categorías principales, a saber, seguridad del personal y el público y seguridad de las fuentes radiactivas.

4.3.1. Seguridad del personal y el público

- a) *Diseño de la instalación, especificación técnica, aceptación y puesta en servicio del equipo, incluido el establecimiento de criterios para un funcionamiento aceptable:* Los FMCC colaboran en el diseño del

blindaje de las instalaciones y garantizan el cumplimiento de los requisitos de seguridad, clasifican las zonas de trabajo en zonas supervisadas y controladas, ayudan a elaborar y definir las especificaciones técnicas para la compra del nuevo equipo de protección radiológica y las inspecciones de seguridad, y elaboran procedimientos para la evaluación inicial y continua de ese equipo. Asesoran sobre métodos prácticos destinados a reducir la dosis del personal y el público que trabajan o se encuentran en zonas adyacentes a las salas en que está instalado el equipo de irradiación o en que se utilizan fuentes radiactivas. Además, se encargan de designar las zonas en que no pueden trabajar mujeres embarazadas ocupacionalmente expuestas. También realizan cálculos y estudios para verificar la idoneidad del blindaje existente en estas salas utilizando sus dimensiones pertinentes, factores de ocupación y carga de trabajo, y establecen criterios para el acceso a las salas que están controladas, limitando ese acceso a los miembros del público y supervisando su cumplimiento. Los FMCC se encargan además de supervisar la instalación del nuevo equipo de protección radiológica y de realizar ensayos de aceptación y la puesta en servicio de ese equipo, incluso en relación con los sistemas informáticos, sus algoritmos, datos y resultados.

- b) *Programa de seguridad radiológica para la protección del personal y el público en general:* Los FMCC cumplen responsabilidades en la elaboración y aplicación del programa de seguridad radiológica clínica del hospital, incluso de políticas y procedimientos para la protección radiológica y la seguridad de los trabajadores y el público. Los FMCC efectúan la evaluación de riesgos de las instalaciones y los procedimientos y determinan si los procedimientos establecidos son adecuados (teniendo en cuenta el tipo de fuentes de radiación), las tasas de dosis a las que pueden estar expuestos los miembros del personal, los resultados de la dosimetría del personal obtenida para actividades similares, las medidas de control establecidas y la necesidad de dispositivos de protección personal como delantales de plomo, protectores de tiroides, gafas y otros. Garantizan que estos últimos se utilicen correctamente y se comprueben de forma periódica para verificar su integridad. Los FMCC se encargan de establecer políticas y procedimientos para el transporte seguro de material radiactivo, para que se tomen precauciones en casos de contaminación o derrame de radionucleidos no sellados, para la gestión de desechos radiactivos y para la integridad y el funcionamiento adecuado de dosímetros y otro equipo de medición, según lo estipulado en las reglamentaciones.
- c) *Dosimetría de las radiaciones:* Los FMCC organizan y proporcionan sistemas de dosimetría personal y monitorización a nivel local en cumplimiento de los procedimientos legislativos locales. Los registros de

dosimetría personal y de las dosis estimadas recibidas por los miembros del público se mantienen durante un período especificado en las reglamentaciones nacionales. También cumplen responsabilidades en la investigación de exposiciones anómalas y determinan si existe algún riesgo radiológico y, en caso afirmativo, de qué magnitud, sobre todo cuando los riesgos se derivan de rayos gamma emitidos por fuentes radiactivas o de radiaciones ionizantes emitidas por el equipo utilizado para el diagnóstico o tratamiento. Elaboran procedimientos y planes de contingencia para hacer frente a exposiciones no intencionadas o accidentales, y formulan recomendaciones sobre las acciones necesarias para minimizar la probabilidad de que esas exposiciones no intencionadas se repitan. Además, aportan los estudios requeridos, interpretan sus resultados y evalúan el cumplimiento de lo establecido por los órganos de reglamentación competentes.

- d) *Optimización de los aspectos físicos y técnicos de los procedimientos de protección radiológica:* Los FMCC efectúan auditorías de protección y seguridad radiológicas y determinan si existen licencias apropiadas. Garantizan que se designen correctamente las zonas de radiación, que estén colocadas las señales de aviso y que las verificaciones radiológicas de las zonas de trabajo aporten pruebas del cumplimiento de las políticas y los procedimientos de protección radiológica establecidos, así como de las normas y recomendaciones del organismo regulador y de acreditación.
- e) *Gestión de calidad de los aspectos físicos y técnicos del equipo de seguridad radiológica:* Los FMCC cumplen responsabilidades en la elaboración, aplicación y supervisión de los aspectos físicos del programa de gestión de calidad del equipo utilizado para la protección radiológica del personal y el público. Entre las tareas afines figuran las siguientes:
 - i) Elaboración de políticas y procedimientos institucionales para el uso seguro y óptimo del equipo empleado para la detección y medición de las radiaciones.
 - ii) Establecimiento de programas de GC y ejecución de actividades de CC para todo el equipo de protección radiológica: Los FMCC se encargan de los procesos de selección, calibración periódica y CC utilizados para determinar el funcionamiento correcto del equipo empleado para las exploraciones radiológicas, así como para los sistemas conexos utilizados para la monitorización ambiental que exigen las reglamentaciones.
 - iii) Realización de la evaluación y gestión de riesgos: Los FMCC son responsables de la integridad de los dosímetros y otros equipos empleados para medir los niveles de radiación a que están expuestos el personal y/o el público y del establecimiento de métodos que

minimicen la dosis de radiación del personal y el público, reduciendo así los riesgos conexos.

- f) *Colaboración con otros profesionales clínicos:* Los FMCC trabajan con otros profesionales clínicos, incluidos facultativos médicos, tecnólogos y personal de enfermería, en casos especiales que puedan presentarse en el medio clínico y que puedan poner en peligro la seguridad del personal y el público, como por ejemplo, un accidente durante el transporte de material radiactivo. En esos casos, los miembros del público y/o el conductor que puedan haber intervenido, o puedan haber quedado lesionados o contaminados, se trasladan al hospital para someterlos a observación y a un posible tratamiento. La función del FMCC, que actúa en la mayoría de los casos como OPR, es fundamental para proporcionar instrucciones sobre las acciones que habrá que realizar para el triaje y descontaminación de las víctimas sin propagar la contaminación y para prevenir una exposición innecesaria a la radiación de los miembros del personal y otros pacientes durante el tratamiento. La colaboración entre los facultativos médicos y los físicos médicos ayuda a establecer el enfoque óptimo para cada caso, y el FMCC presta asesoramiento sobre la seguridad para obtener el resultado mejor y más seguro de esas situaciones especiales.
- g) *Enseñanza y capacitación:* Los FMCC proporcionan enseñanza y capacitación permanente al personal clínico sobre la seguridad y la protección radiológicas. Garantizan el establecimiento de programas de capacitación, dictan conferencias e imparten capacitación práctica al personal sobre los principios básicos de la seguridad radiológica, incluida la clasificación de las zonas controladas y supervisadas, la exposición prevista derivada de procedimientos diagnósticos o terapéuticos diferentes basados en el uso de fuentes de radiación y establecen y promueven una cultura de la seguridad y el concepto de la defensa en profundidad.

4.3.2. Seguridad de las fuentes radiactivas

- a) Los FMCC instauran procedimientos para el transporte seguro de las fuentes radiactivas y el equipo que emite o utiliza radiaciones en el complejo hospitalario, teniendo en cuenta todos los requisitos reglamentarios y los aspectos de seguridad. Ello incluye el traspaso de la propiedad de las fuentes durante la entrega o la disposición final.
- b) Los FMCC elaboran el programa de seguridad física de las fuentes radiactivas, incluidos procedimientos para recibirlas, almacenarlas en condiciones de seguridad, inventariarlas y controlar su ubicación fija o provisional en el hospital. Planifican y supervisan las existencias regulares de todas las fuentes radiactivas, velando por su disposición final segura como

desechos radiactivos cuando proceda, conforme a las reglamentaciones y recomendaciones de seguridad nacionales e internacionales.

- c) Los FMCC realizan evaluaciones de riesgos y determinan posibles accidentes o pérdidas de fuentes radiactivas, elaboran los procedimientos de acción que se habrán de aplicar en caso de que ocurran esos incidentes y realizan ejercicios para verificar que pueden aplicarse correctamente.

5. DOTACIÓN DE PERSONAL Y ORGANIZACIÓN DE UN SERVICIO DE FÍSICA MÉDICA

Los requisitos de personal para prestar servicios de física médica a fin de favorecer la atención eficiente y segura de los pacientes deben definirse aplicando criterios compatibles con la práctica médica actual. El impacto del constante desarrollo de la tecnología médica y sus aplicaciones, así como los cambios en los requisitos reglamentarios en el mundo, hacen obsoletas la mayoría de las recomendaciones anteriores sobre la dotación del personal. Aunque en la presente publicación no se contempla abordar en detalle este tema, parece conveniente consignar la situación actual de las recomendaciones sobre la dotación de personal.

Pocas organizaciones han examinado a fondo los requisitos de personal, incluido el impacto de las actividades de capacitación clínica y académica (que se examinarán en la siguiente sección), por lo que los criterios varían considerablemente a escala mundial. La física radioterapéutica probablemente sea la especialidad que haya recibido mayor atención y últimamente del Instituto de Física e Ingeniería Médicas (IPEM) [11] y la Asociación Americana de Físicos en Medicina (AAPM) [12]. La Federación Europea de Organizaciones de Física Médica (EFOMP) [13] y el OIEA (para América Latina) [14] han formulado criterios respecto de todas las especialidades. Mientras las recomendaciones anteriores se basaban principalmente en la cantidad de equipos disponibles en una institución (por ejemplo, las que formuló la AAPM en 1991 con respecto al equipo de radiología diagnóstica [7]), actualmente se ha hecho más corriente la práctica de considerar la cantidad de equipos y su complejidad, el número de pacientes, la complejidad de los procedimientos y la organización departamental. En relación con esto último cabe señalar que algunos países permiten que se deleguen determinadas tareas de los físicos médicos a tecnólogos, dosimetristas u otro personal que trabaje bajo la supervisión de un FMCC (véase el apéndice II).

En la mayoría de las publicaciones se han dado ejemplos detallados de la dotación de personal basándose en sus requisitos específicos. El IPEM [11],

por ejemplo, toma en consideración una instalación grande de radioterapia que incluye cuatro aceleradores de varias modalidades y cuatro de modalidad única (la mitad dotados de sistemas de IGRT) y dos simuladores TC. La carga de trabajo consiste en 4 800 pacientes al año, de los cuales la mitad son tratados paliativamente y 400 son tratados con técnicas especiales como IMRT y la irradiación de cuerpo entero. Además, 350 pacientes son tratados con braquiterapia de alta tasa de dosis y 100 con semillas de braquiterapia de baja tasa de dosis. Los cálculos arrojan estimaciones de 16 FMCC, 19 tecnólogos o dosimetristas y ocho ingenieros. Las estimaciones del OIEA [14] para una instalación avanzada con las mismas características no son demasiado disímiles. Sin embargo, según el OIEA [14], un departamento de radioterapia básica con tres unidades de ^{60}Co , un simulador convencional, un SPT en dos dimensiones y 1 600 tratamientos por año, requiere 2 FMCC y 2,5 dosimetristas, estimaciones que son notablemente diferentes de las derivadas de los requisitos de la EFOMP. Evaluaciones similares de instalaciones de medicina nuclear y radiología diagnóstica, así como de protección radiológica, basadas en publicaciones de la AAPM, la EFOMP y el OIEA también arrojan diferencias considerables. Por tanto, se reconoce la necesidad de contar con criterios armonizados.

La organización de los servicios de física médica suele depender del tamaño y el tipo de instalación médica, aunque varía considerablemente. Los físicos médicos de grandes hospitales generales suelen estar organizados en un departamento autónomo de física médica que presta servicios a varios departamentos clínicos. También pueden ser miembros del personal de departamentos independientes de DIR, cardiología, neurocirugía, medicina nuclear o radioterapia. En las instalaciones pequeñas tal vez solo haya un FMCC trabajando a tiempo completo, respaldado por un FMCC externo que preste apoyo en calidad de consultor [13].

Los FMCC con especializaciones complementarias deberían colaborar para satisfacer los requisitos necesarios de atención óptima de los pacientes. Según el tamaño y las necesidades de la instalación, los FMCC con diferentes cualificaciones (y posiblemente pertenecientes a distintos departamentos) pueden trabajar conjuntamente para prestar apoyo en física médica y satisfacer las necesidades de la entidad. Por ejemplo, el programa de GC y los procedimientos necesarios de CC de los escáneres de TC o MRI ubicados en un departamento de radioterapia, o de las unidades de imagenología SPECT/TC y PET/TC ubicadas en un departamento de medicina nuclear, que sean operados en ambos casos por personal clínico local adiestrado, pueden ser elaborados y ejecutados por FMCC de departamentos de DIR o MRI, debidamente capacitados en las técnicas necesarias para utilizar unidades de DIR o MRI. En tales casos, los FMCC de los distintos departamentos deberían prestar asesoramiento para garantizar que se cumplan todas las funciones de física médica. Si no es posible la colaboración

o el apoyo, los físicos médicos especialistas en radioterapia o medicina nuclear deben recibir capacitación apropiada para estar en condiciones de llevar a cabo las actividades de GC y CC en relación con el equipo pertinente de sus departamentos. Otra posible situación que suele observarse en algunos departamentos grandes dimana de la subespecialización que pueden tener algunos FMCC, por ejemplo, para tratamientos con haces externos y braquiterapia; en tales situaciones la dirección de la instalación debería asegurar que se disponga de una cobertura adecuada para todas las subespecialidades en todo momento.

En todos los casos, los FMCC deberían ser conscientes de las limitaciones de su propia especialización. Si tienen que cumplir funciones para las que no están cualificados o no son competentes, deberían procurar el apoyo de FMCC competentes u obtener las cualificaciones necesarias con el asesoramiento de un FMCC adecuado o participar en cursos de desarrollo profesional continuo para su superación. En casos excepcionales, podrían participar en un programa de autoaprendizaje.

5.1. REQUISITOS DE PERSONAL

Los físicos médicos forman parte de un grupo interdisciplinario compuesto por otros profesionales de la salud, como facultativos médicos especialistas en radiología, radiofarmacéuticos, ingenieros biomédicos, técnicos, radiógrafos, dosimetristas y enfermeros; es necesario definir los requisitos globales de personal para prestar servicios apropiados de atención de la salud y favorecer la atención eficiente y segura de los pacientes en consonancia con la mejor práctica médica actual. El enfoque centrado en el paciente ayudará a garantizar que se tomen en cuenta todas las actividades que se superponen en la medicina radiológica, independientemente de la profesión.

La dotación de personal en el medio clínico no solo es importante para fines de planificación y presupuestarios y fundamental para la seguridad del paciente, sino que también suele especificarse para la acreditación de las prácticas y la certificación profesional. La estimación de una dotación de personal razonable para apoyar los servicios de medicina radiológica a menudo se ha basado vagamente en el tamaño de la población, la disponibilidad de equipo, la incidencia de las enfermedades, etc. Con frecuencia se toman como nivel de referencia estimaciones subjetivas retrospectivas basadas en la práctica existente para pronosticar las futuras necesidades de personal a nivel local. Probablemente la prueba básica más objetiva que se requiere para estimar la dotación de personal equivalente a tiempo completo sean las mediciones detalladas del tiempo que demora cada procedimiento y actividad. Tales mediciones son lógicamente más útiles y válidas si se realizan entre una diversidad de clínicas, servicios y

profesionales con una amplia gama de experiencias. Para apoyar la dotación de personal de física médica se han utilizado extensamente los valores medios obtenidos de estudios nacionales.

Es improbable que puedan obtenerse estimaciones exactas de todas las posibles actividades profesionales, ya que esta es ciertamente una tarea onerosa. Además, constantemente se desarrollan nuevos procedimientos y se implantan nuevas tecnologías, por lo que se reconoce que se trata de un proceso dinámico. Esta es otra razón por la cual los estudios sobre la carga de trabajo del personal siempre quedarán a la zaga de los adelantos tecnológicos en un número considerable de años. En estos casos, la siguiente mejor opción es el establecimiento de niveles de referencia o el consenso de expertos profesionales.

A menudo las actividades deben agruparse porque algunas de ellas, como por ejemplo, la administración de la radioterapia, solo pueden realizarse con seguridad si participa más de una persona. En algunos casos, tal vez tenga que participar más de un tipo de profesional durante un procedimiento único. Por otra parte, no todos los procedimientos entrañan actividades profesionales directamente relacionadas con la utilización de equipo; por ejemplo, para la presentación de informes sobre las imágenes no siempre se requiere que el radiólogo o el facultativo médico especialista en medicina nuclear estén presentes durante el procedimiento real de adquisición de las imágenes.

Existe muy poca documentación basada en pruebas que cuantifique precisamente el número y el tipo de profesionales necesarios para apoyar un servicio y que esté directamente relacionada con la carga de trabajo asociada a los pacientes, la tecnología, la técnica, los procedimientos y la infraestructura. Se reconoce que es necesario disponer de un instrumento que proporcione al personal directivo de los hospitales directrices sobre dotación de personal transparentes, flexibles, que posibiliten la expansión de los servicios existentes, una gama más amplia de modalidades, nuevas tecnologías y que al mismo tiempo contribuyan a que la atención del paciente siga siendo de alta calidad, segura y eficaz. En este contexto, el OIEA ha reunido a un grupo de expertos y representantes de sociedades profesionales con el fin de elaborar una guía “universal” y un conjunto de modelos para estimar la dotación de personal necesaria para las tres especialidades de medicina radiológica (DIR, medicina nuclear y radiooncología). Aunque los modelos que se están elaborando para las tres especialidades son diferentes, todos se basan en:

- a) Un análisis de las tareas que debe ejecutar el personal competente;
- b) Su duración;
- c) La carga de trabajo clínica (número de pacientes, exámenes, procedimientos, etc.).

Para los tres algoritmos el usuario debe definir las condiciones de trabajo locales y estimar la carga de trabajo, el número de equipos y modalidades, el número de procedimientos y/o las técnicas que se habrán de emplear en cada especialidad. Las aportaciones concretas de los usuarios necesarias para cada disciplina, como por ejemplo, el número de procedimientos de radiología y medicina nuclear, o el número de pacientes tratados anualmente en radiooncología, se basan en estadísticas que se consideraron fácilmente asequibles a los usuarios del instrumento; aunque también pueden estimarse a partir de otros indicadores, como la población de pacientes y la mezcla de casos. Los modelos se están validando actualmente en una amplia diversidad de departamentos.

Por ejemplo, en la radiooncología, tres grupos profesionales prestan fundamentalmente los servicios: los radiooncólogos, los FMCC y los tecnólogos de radiología médica, y proporcionan servicios de apoyo complementario los enfermeros de radiooncología, los ingenieros mecánicos y eléctricos y los expertos en tecnología de la información (TI). En algunos países, los dosimetristas médicos se reconocen como un grupo profesional adicional de radioterapia (véase el apéndice II). La radioterapia óptima solo se consigue cuando estos profesionales trabajan en colectivo y cuando el proceso es, por tanto, uniforme. El modelo de radiooncología representa un enfoque basado en la actividad cuya finalidad es definir la dotación de personal necesaria y recoger todas las actividades del proceso de radioterapia: actividades asociadas con el paciente, mantenimiento del equipo y CC, procedimientos especiales, gestión, administración, enseñanza e investigación. Se relaciona solo con profesionales específicamente dedicados al servicio de radiooncología; por ejemplo, no está incluida la oncología médica. Se basa en un número definido de horas de trabajo diarias/semanales en que se tiene en cuenta un período de descanso anual. Estos parámetros pueden ajustarse a la situación local.

Las tareas definidas por separado se relacionan con la prescripción, la preparación, la imaginología, la planificación del tratamiento, la administración del tratamiento y el seguimiento de los pacientes que reciben teleterapia y braquiterapia. El personal que realiza las tareas se ha definido en el ámbito de los servicios y no en el de una profesión, ya que se reconoce que distintos profesionales pueden llevar a cabo la misma tarea en diferentes contextos de recursos. De esta manera, el instrumento se ha concebido para ofrecer máxima flexibilidad. Los servicios definidos son: servicio de radiooncología, servicio de física médica, servicio de tecnología de radioterapia, servicio de planificación del tratamiento, servicio de enfermería de radiooncología, servicios de ingeniería mecánica y eléctrica y apoyo en TI. Cada tarea se ha definido en función del período estimado en que puede ultimarse objetivamente en función de la mejor práctica basada en la evidencia o en el consenso. Posteriormente ese período se ha asociado con cada uno de los servicios que normalmente realizan estas tareas.

En otras palabras, además del tiempo general estimado, también se estima el tiempo invertido por cada tipo de profesional para llevar a cabo cada tarea.

El número de pacientes y de fracciones tratados en un departamento se registran de modo que reflejen el nivel de complejidad de la práctica departamental y permitan así que cada uno de los departamentos calcule la dotación de personal equivalente a tiempo completo necesaria para apoyar una gama de tecnología. Por tanto, la directriz y el instrumento se han concebido para que sean flexibles y faciliten a cada departamento calcular el requisito basándose en los recursos de que disponen y el conjunto de conocimientos y aptitudes de su personal.

6. RECOMENDACIONES PARA LA CAPACITACIÓN ACADÉMICA Y CLÍNICA DE LOS FÍSICOS MÉDICOS CLÍNICAMENTE CUALIFICADOS

6.1. SITUACIÓN ACTUAL

Los físicos médicos que trabajan como profesionales de la salud demostrarán su competencia en su disciplina al obtener la cualificación académica apropiada y la capacitación por competencia clínica en uno o más subcampos de la física médica. Los requisitos actuales para la cualificación de los físicos médicos varían en gran medida en todo el mundo (véanse referencias [15 a 18]). Esta variación la han confirmado los resultados de dos estudios en gran escala emprendidos por la EFOMP en 2006 [19] y el OIEA en el período 2010–2011, en que se incluyeron las respuestas de 77 países de cinco continentes.

En la figura 1 se presenta el análisis general, en que se reconoce la posibilidad de que se hayan hecho distintas interpretaciones de algunas preguntas y que incluso en un país puedan variar los requisitos entre distintas instituciones. En el panel izquierdo se indica que el período mínimo de “enseñanza académica y capacitación clínica” para ser empleado como físico médico en un hospital varía entre tres y nueve años y que la media es de unos seis años. Los requisitos relativos a la fracción de tiempo invertido en la capacitación básica, de posgrado y clínica varía considerablemente, como se indica en el panel derecho, que va desde una carrera básica de tres años sin capacitación clínica a nueve años, con la inclusión de los tres componentes. Los estudios básicos de física de aproximadamente cuatro años son la modalidad más común entre más del 90 % de los entrevistados y en los países con un sistema de posgrado los programas de uno o dos años son los más frecuentes. La mayor discrepancia hallada en el análisis corresponde a los programas de capacitación clínica aplicados en los diversos países.

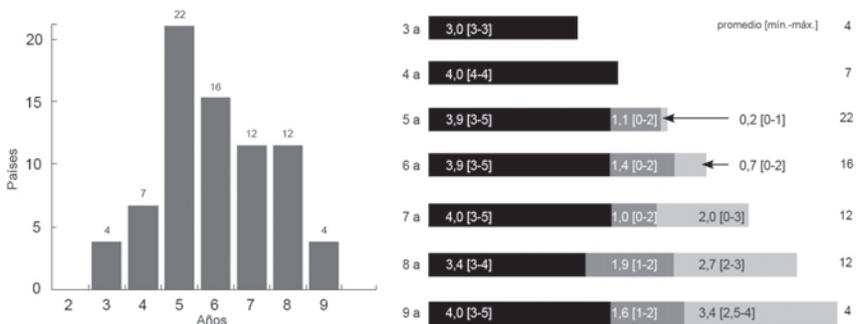


Fig. 1. Resultados de dos estudios integrales sobre los requisitos para obtener la cualificación de físico médico realizados por la EFOMP en 2006 [19] y el OIEA en el período 2010–2011, que incluyen las respuestas de 77 países. En el panel izquierdo se indica el período mínimo de “enseñanza académica y capacitación clínica” para ser empleado como físico médico. El panel derecho ilustra la fracción de tiempo invertida en la capacitación básica, de posgrado y clínica para cada grupo. Las cifras en la parte superior del gráfico de barras en el panel izquierdo y en la columna de la derecha del panel derecho indican el número de países.

Su duración puede ser nula o abarcar hasta cuatro años. También tienen formatos bastante diferentes; por ejemplo, entre los programas formalmente estructurados, el 20 % aplica un sistema de residencia o de capacitación en el empleo durante los primeros años, el 29 % aplica la capacitación como un componente del programa de posgrado y el 51 % no imparte ninguna capacitación clínica estructurada. La evaluación de las aptitudes adquiridas durante la capacitación clínica también muestra pautas bastante diferentes, que van desde un examen formal (57 %) a una evaluación continua (9 %) o una combinación de ambos (23 %); el 11 % de las respuestas fueron imprecisas. Cabe señalar que en un número importante de países que imparten capacitación clínica formal los pasantes son remunerados como miembros del personal y que en algunos países sus pasantes son empleados automáticamente al terminar el programa de capacitación, mientras que en otros no se garantiza el empleo.

6.2. REQUISITOS DE CUALIFICACIÓN PARA LA CAPACITACIÓN ACADÉMICA Y CLÍNICA

El análisis apunta a la necesidad de establecer criterios armonizados sobre las recomendaciones mínimas para la capacitación académica y clínica de los físicos médicos. Estos criterios podrían aplicarse para lograr normas comunes

de competencia a nivel mundial. Las recomendaciones siguientes sobre la capacitación académica y clínica necesaria para lograr la condición de FMCC se basan en los resultados de los estudios y las directrices publicados por varias organizaciones internacionales, como la EFOMP [17], la IOMP [18] y la Comisión Europea [20].

La trayectoria normal recomendada es cursar estudios al nivel de una carrera universitaria básica en física, ingeniería o equivalente (es decir, una carrera de 3 a 4 años que incluya matemática y física avanzada), y seguidamente:

- a) Una carrera de posgrado en física médica, que podría ser una maestría o equivalente de 1 a 3 años que incluya cursos que abarquen todas las especialidades de la física médica, que culmine con la presentación de un informe de investigación sobre una de ellas. El OIEA ha publicado ejemplos de programas de cursos en manuales sobre física de radiooncología [21], física de radiología diagnóstica [22], y física de medicina nuclear [23], y también los han publicado organizaciones científicas y profesionales como la AAPM [24, 25], y el IPEM [26].
- b) Capacitación clínica durante un período de no menos de dos años en una de las especialidades de la física médica en forma de un programa de residencia estructurado, supervisado por un FMCC superior. Pueden hallarse ejemplos de programas de capacitación clínica en física médica en la Colección Cursos de Capacitación del OIEA, Nos. 37¹, 47² y 50³ [27 a 29]. La capacitación clínica para cada nueva especialidad debería cursarse en un plazo de no menos de un año. En los programas de capacitación clínica elaborados para cada especialidad debería hacerse hincapié en las funciones y responsabilidades del FMCC en la disciplina respectiva, como se señala en las secciones 2 a 4.

Deberían observarse las siguientes condiciones durante el programa de residencia clínica:

- i) La capacitación deberá llevarse a cabo en un hospital.
- ii) Consistirá en años equivalentes a tiempo completo, es decir, que si el programa de capacitación clínica incluye cursos académicos, el tiempo asignado para la capacitación clínica deberá ampliarse en consecuencia.
- iii) Los cursillistas que ingresen en el programa y cualesquiera cursos académicos incluidos en él serán evaluados oficialmente para

¹ Esta publicación también está disponible en español, francés y ruso.

² Esta publicación también está disponible en español y francés.

³ Esta publicación está disponible en francés. Se está preparando una versión en español.

garantizar su conocimiento y competencias. Aun cuando se realice una evaluación continua, debería complementarse con exámenes orales y/o escritos.

- iv) Los centros en que se realice la capacitación clínica ofrecerán una amplia gama de procedimientos clínicos de interés, y estarán dotados de una gama completa de equipo de dosimetría y CC, de modo que el residente reciba la capacitación apropiada en una amplia diversidad de técnicas. También debería disponerse de otros recursos como biblioteca, computadoras y acceso a Internet.
- v) Es aconsejable que el número de cursillistas por supervisor no exceda de dos o tres en cualquier momento determinado, según las funciones clínicas del supervisor. Si la supervisión la comparte un grupo de instructores, se sumará el volumen de supervisión de manera que el total corresponda a un puesto de supervisor equivalente a tiempo completo.

Otra trayectoria es ingresar en el proceso de capacitación con un título de posgrado (maestría o doctorado) en física, ingeniería o equivalente. En ese caso el titular recibirá cursos académicos apropiados que abarquen todas las especialidades pertinentes de la física médica (véanse referencias [30, 31]). Esto puede tener lugar antes del período de capacitación clínica o durante ese período. En ese caso se aplica el punto b) ii) *supra*.

Las tres etapas anteriores colman los requisitos de cualificación mínimos para el FMCC. Cabe señalar que los intervalos anuales mencionados tienen el propósito de indicar los períodos mínimos para cada componente. Así, para el componente académico, esos intervalos corresponden a períodos académicos básicos y de posgrado posiblemente de distinta duración, que en total deberían ser de 4 a 7 años, según los ciclos universitarios nacionales. Asimismo, la capacitación clínica no debería durar efectivamente menos de dos años y si incluye otras actividades (por ejemplo, cursos y trabajos de proyecto académico), su duración debe ampliarse en consecuencia a tres años o incluso más. La capacitación clínica debería basarse en la competencia. En general, la enseñanza académica y la capacitación clínica deberían prolongarse normalmente durante un período mínimo de siete años, semejante al de los especialistas médicos de la mayoría de los países.

6.3. ACREDITACIÓN, CERTIFICACIÓN Y REGISTRO

El proceso oficial mediante el cual un órgano independiente reconocido (profesional y/o estatal) evalúa un programa o un emplazamiento clínico y

reconoce que cumple los requisitos o criterios previamente determinados se denomina acreditación. Es muy conveniente que el programa académico de posgrado y la residencia clínica sean acreditados oficialmente por un órgano profesional nacional o internacional autorizado por el gobierno o por la oficina estatal correspondiente. Hay que destacar que la acreditación no constituye una situación permanente y debería renovarse periódicamente.

La certificación (o “acreditación”) es el proceso oficial mediante el cual un órgano autorizado (estatal o no estatal) evalúa y reconoce el conocimiento y competencia de una persona, que debe cumplir los requisitos o criterios previamente determinados. La certificación de los FMCC debería ser obligatoria, como sucede entre la mayoría de los otros profesionales de la salud. Ello ayuda a alcanzar un nivel profesional homogéneo a escala nacional (e internacional) y garantiza la calidad y seguridad en la medicina radiológica. Al igual que la acreditación, la certificación no tiene carácter permanente y debería aplicarse un sistema regular de recertificación para demostrar que el FMCC mantiene actualizados sus conocimientos de las tecnologías, los métodos y las normas de práctica modernos. Ello se logra por lo general aplicando un programa de desarrollo profesional continuo (véase *infra*).

La certificación profesional de los FMCC, al igual que de otros profesionales de la salud, debería correr a cargo de juntas nacionales. Las juntas internacionales podrían proporcionar directrices sobre las normas, los requisitos y el formato de certificación y efectuar la acreditación de los sistemas de certificación. También pueden conceder y expedir certificados a los solicitantes que se hayan considerado cualificados, mantener un registro de titulares de esos certificados y servir al público preparando y suministrando listas de FMCC que hayan sido certificados por el órgano internacional. Las entidades nacionales de física médica deberían compartir sus conocimientos especializados, experiencia y recursos en relación con el establecimiento y funcionamiento de los sistemas de certificación. Los países que no hayan establecido sistemas de certificación profesionales podrán considerar la posibilidad de iniciar un sistema voluntario y transitar a uno obligatorio cuando el sistema alcance su madurez. Podrían procurar asesoramiento y apoyo de las juntas nacionales e internacionales de certificación establecidas. Los países que tengan dificultades para crear juntas de certificación por contar con un número reducido de físicos médicos y/o carecer de instructores, entre otros motivos, podrían considerar la posibilidad de hacer que sus físicos médicos obtengan la certificación de países en que existen sistemas de certificación por juntas. Los países que ya aplican sistemas voluntarios de certificación deberían analizar la posibilidad de transformarlos en sistemas obligatorios.

El proceso de certificación debería propiciar el de registro, en que los datos de los profesionales certificados se mantienen y organizan en bases de

datos o listas. Lo ideal sería que el registro fuera un sistema legal que pudiera ser administrado por una oficina del gobierno o un órgano profesional autorizado por el gobierno, pero a nivel nacional. El registro de FMCC administrado por el gobierno tiene la ventaja de que los requisitos profesionales pueden cumplirse en forma armonizada en todo el país, de modo semejante a los requisitos de reglamentación de otros profesionales, por ejemplo, arquitectos y facultativos médicos. En algunos países el registro es un requisito establecido para obtener la licencia para el ejercicio de la profesión y resulta un mecanismo de CC eficaz para valorar la competencia profesional.

6.4. PROGRAMA DE DESARROLLO PROFESIONAL CONTINUO

El desarrollo profesional continuo es una de las medidas indispensables para mantener la competencia profesional, sobre todo para los FMCC certificados. Su objetivo es mantener actualizados los conocimientos profesionales y las aptitudes. El concepto del desarrollo profesional continuo varía de un país a otro pero, en general, incluye la participación en actividades educativas y científicas como conferencias, simposios, cursos y talleres y las funciones de enseñanza y capacitación de físicos médicos y otros profesionales clínicos. Las actividades de investigación y desarrollo también pertenecen al desarrollo profesional continuo e incluyen la presentación de aportaciones individuales a revistas o libros, publicaciones y arbitrajes. Los sistemas de desarrollo profesional continuo muy perfeccionados a menudo exigen a los profesionales que participen en una diversidad de actividades, incluso de enseñanza permanente de la ética. Los programas de desarrollo profesional continuo formales deberían incluir un mecanismo de evaluación, como un sistema basado en créditos, en que los FMCC reciban un número de puntos por cada actividad en que participen. Estos deberían formar parte de los criterios de recertificación. En todos los países debería aplicarse un sistema de desarrollo profesional continuo. Las sociedades profesionales nacionales pueden desempeñar un papel importante en la organización y acreditación de actividades de desarrollo profesional continuo. Es muy recomendable aplicar un programa de desarrollo profesional continuo de carácter voluntario en los países que aún no tienen establecido un sistema de certificación.

6.5. RESUMEN DE LOS REQUISITOS DE CUALIFICACIÓN

En el diagrama de flujo que aparece en la figura 2 se resumen los requisitos mínimos recomendados de enseñanza académica y capacitación clínica y las etapas asociadas a la determinación del nivel de un FMCC.

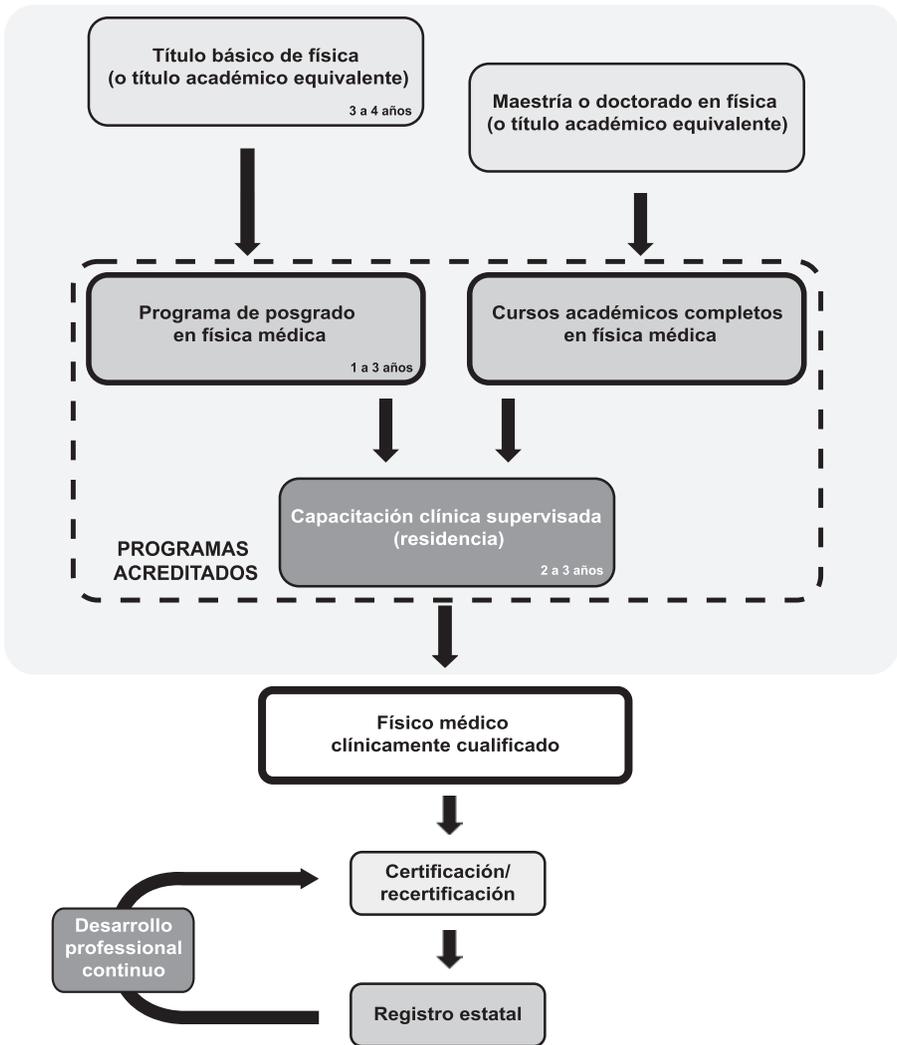


Fig. 2. Recomendaciones sobre los requisitos mínimos de enseñanza académica y capacitación clínica de un físico médico clínicamente cualificado. Dos posibles trayectorias académicas conducen al componente de capacitación clínica obligatoria. Los intervalos en años del componente académico corresponden a los posibles lapsos de tiempo distintos de los periodos académicos básico y de posgrado, que en total deberían ser de 4 a 7 años, según los ciclos universitarios nacionales. Asimismo, el período de capacitación clínica puede incluir cursos académicos en física médica, pero estos no deberían durar menos de dos años. En general, la enseñanza académica y la capacitación clínica deberían abarcar, normalmente, un período mínimo de siete años.

Apéndice I

CÓDIGO DE ÉTICA PARA LOS FÍSICOS MÉDICOS QUE TRABAJAN EN EL MEDIO CLÍNICO

El presente código de ética y conducta profesional se basa en las publicaciones e informaciones procedentes de la AAPM [32, 33] y el Health and Care Professions Council [34]. Incluye dos secciones principales dedicadas a los principios y las directrices. Los principios son normas de conducta ética destinadas a ayudar a los físicos médicos a cumplir sus funciones y conducirse en una forma profesional, mostrando respeto a los pacientes, sus colegas y el público. Las directrices son instrucciones cuyo fin es ayudar a los físicos médicos a interpretar y aplicar los principios y aunque tal vez no aborden concretamente todas las situaciones, comprenden directrices de conducta profesional, de ética investigativa y pedagógica. En algunos países, los estudiantes de posgrado que participan en investigaciones clínicas o los residentes que reciben capacitación clínica en física médica quizás tengan también que registrarse ante la autoridad nacional que reglamenta la conducta profesional de los trabajadores de la salud. Además, tal vez sean aplicables directrices de ética para las actividades comerciales, el gobierno, el empleo, las denuncias, las audiencias y la negligencia profesional.

I.1. PRINCIPIOS DE CONDUCTA PROFESIONAL

Los físicos médicos acatarán los siguientes principios:

- a) Luchar por prestar la atención de mejor calidad al paciente con un servicio competente y profesional. Asegurar que se promuevan y salvaguarden en todo momento el bienestar, los intereses y la dignidad de los pacientes.
- b) Salvaguardar las confidencias de los pacientes y la privacidad profesional. Respetar la información confidencial obtenida sobre los pacientes en el curso de la práctica profesional.
- c) Respetar los derechos de los pacientes, colegas, profesionales de la salud y de quienes reciben la capacitación.
- d) Reconocer las propias limitaciones de conocimientos, aptitudes o tiempo y procurar asesoramiento y asistencia cuando se indique. No desempeñar funciones o responsabilidades que vayan más allá de la propia capacidad o competencia.

- e) Respetar la ley y los requisitos reglamentarios respecto de la práctica segura y eficaz de la profesión. No aceptar empleo o asesoramiento contrario a la ley o el bienestar del público.
- f) Actuar con honestidad en todas las interacciones profesionales y en el propio trabajo. Evitar una conducta que atente contra la dignidad de la profesión. Todas las relaciones con empleadores, colegas de trabajo, organismos estatales y el público en general se basarán en la norma más alta de integridad y equidad y reflejarán esa norma.
- g) La relación entre los físicos médicos y otros profesionales de la salud será honesta, colegiada y se basará en el respeto mutuo. Se trabajará de manera cooperativa y en colaboración con otros profesionales de la salud, reconociendo y respetando sus aportaciones particulares a la atención de la salud.
- h) Revelar conflictos de intereses cuando los aspectos financieros u otros aspectos personales puedan poner en peligro o parezcan afectar al propio criterio profesional. Informar al empleador o cliente por escrito de cualquier conflicto que exista entre el servicio que se le presta y los propios intereses personales.
- i) Luchar por mejorar los conocimientos y aptitudes profesionales y compartirlos con los colegas y los que reciben capacitación. Adoptar todas las medidas razonables para mantener y desarrollar la propia competencia y ayudar a hacer lo mismo a los colegas de trabajo o a los que trabajan bajo su supervisión.
- j) El propio trabajo como físico médico, incluso en la investigación, será veraz, se basará en principios científicos aceptados, y en él se citarán trabajos anteriores cuando proceda. Mantener normas profesionales adecuadas en la investigación y el desarrollo y prevenir la propagación de resultados fraudulentos o intencionadamente sesgados.
- k) Mantener un registro de pruebas del propio desarrollo profesional continuo y aconsejar a los colegas que hagan lo mismo.
- l) Luchar por proteger la seguridad y el bienestar de los pacientes.
- m) Comunicar incidentes o errores que puedan ocurrir en la línea de trabajo que pudieran afectar o hayan afectado al proceso de tratamiento de cualquier paciente.

I.2. DIRECTRICES DE ÉTICA

La directriz general es ajustarse a altas normas de conducta ética, legal y profesional. Cualquier actividad que no se ajuste a estas normas pone en peligro la integridad personal.

I.2.1. Directrices de conducta profesional

- a) *Libertad académica:* Luchar por desarrollar la investigación científica y promover un medio científico y clínico libre de presiones u obstáculos políticos, ideológicos o religiosos.
- b) *Honestidad:* Actuar con honestidad en todas las interacciones profesionales y en su trabajo. Documentar y comunicar sus credenciales profesionales, como títulos académicos, capacitación, enseñanza continua y aportaciones académicas e investigativas, con veracidad y exactitud. Presentar sus actividades, servicios y productos con honestidad. Se considera poco ética la documentación fraudulenta de trabajo no realizado, la datación retroactiva de informes, la firma de informes de trabajos hechos por otros, así como la invención y la falsificación de datos.
- c) *Mantenimiento de los conocimientos y aptitudes:* Luchar por mejorar sus conocimientos y aptitudes en relación con su trabajo profesional. Participar en actividades de enseñanza continua en física médica. Es indispensable compartir esos conocimientos y aptitudes con los colegas. Luchar por que su experiencia sea accesible a la comunidad de física médica.
- d) *Competencia:* Ser consciente de sus limitaciones de conocimientos, aptitudes, competencias y experiencia. Aceptar solo el trabajo para el que se tenga competencia y procurar enseñanza y capacitación complementarias o asesoramiento cuando se indique.
- e) *Relaciones profesionales:* Luchar por mantener relaciones mutuamente beneficiosas con otros colegas. Todas esas interacciones deberían ser abiertas, honestas y respetuosas. Cuando proceda, compartir las aptitudes y experiencias y ayudar al desarrollo profesional de los colegas. Quienes ocupen puestos de supervisión tienen la obligación de orientar a sus asociados.
- f) *Responsabilidad ante el público, el paciente y la institución:* Luchar por mejorar el bienestar del público mediante la difusión de conocimientos científicos y la enseñanza pertinente. Atribuir la mayor importancia al bienestar de los pacientes y solo participar en actividades de atención de los pacientes que redunden en interés del paciente. Si se está afiliado a una instalación de atención de la salud o empleado por esta, tener en cuenta los intereses de la institución. Promover una atmósfera mutuamente respetuosa con proveedores de atención de la salud, administradores y personal auxiliar. Apoyar a otros miembros del personal de la institución para lograr una atención de alta calidad de los pacientes. Respetar las políticas y los procedimientos institucionales y contribuir a su constante mejora.

- g) *Confidencialidad respecto de los pacientes:* Respetar el carácter confidencial de toda la información de los pacientes y proteger la confidencialidad de esa información.
- h) *Conflicto de intereses:* Pueden existir conflictos con una institución, en un contexto educativo, con la industria o con actividades de la práctica clínica. Ser consciente de cuándo los intereses personales entran en conflicto con otros intereses. Colocar las necesidades del paciente por encima de los intereses personales. Los conflictos de intereses no son inherentemente poco éticos o deben evitarse, sino que deben revelarse a cualquier parte afectada y tratarse de manera adecuada.
- i) *Discriminación:* Tratar con justeza, equidad y respeto a todas las personas con quienes se mantengan relaciones profesionales. Juzgar a los demás sobre la base del conocimiento, la capacitación, la competencia y la calidad del servicio prestado. Es censurable y poco ética la discriminación parcializada y perjudicial no basada en el mérito.
- j) *Acoso:* Contribuir a un ambiente laboral en que las personas puedan hacer su trabajo lo mejor posible y con la mayor productividad. Emplear un lenguaje positivo y favorable. No son aceptables el maltrato verbal, comentarios degradantes, intercambios airados e incontrolados o cualquier comportamiento que cree directa o indirectamente un medio de trabajo hostil. No se acosará sexualmente a nadie. Se entiende por acoso sexual una proposición sexual importuna, una petición de favores sexuales, u otro comportamiento verbal o físico de índole sexual.
- k) *Relaciones de explotación:* No se explotará a ninguna persona con la que se tengan relaciones profesionales. La explotación puede consistir en coaccionar a una persona para que realice un trabajo sin compensación equitativa, obligar a una persona a actuar contra su voluntad o consentimiento, o crear condiciones de trabajo en que una o más personas sean tratadas injustamente en beneficio de otros, aunque no se limita a estos actos.
- l) *Reacción ante colegas con impedimentos o incompetentes:* La seguridad y el bienestar de los pacientes son intereses primordiales de los físicos médicos. Si, a causa de algún impedimento, se percibe que un colega pone en peligro el bienestar del paciente, se debería tratar de responder en nombre del paciente. Las circunstancias particulares pueden ser ambiguas y se debería proceder por la vía judicial. Si existe una obligación jurídica, contractual o reglamentaria de comunicar las preocupaciones, el miembro cumplirá con esa obligación. Los físicos médicos notificarán los incidentes, definidos como cambios indeseados o inesperados de una situación normal que causen o posiblemente perjudiquen a una persona o un equipo, de conformidad con la política institucional local y las reglamentaciones

oficiales aplicables. Un instrumento sumamente importante para ayudar a minimizar el riesgo de sucesos similares en el futuro es aprender de los incidentes. Los miembros también deberían alentar a otros profesionales de la salud a comunicar los incidentes.

- m) *Relaciones con los reguladores*: El físico médico está obligado a ayudar a los reguladores y cooperar con ellos en el cumplimiento de sus funciones de manera honesta y respetuosa.
- n) *Protección de denunciantes*: Se respetará a otros físicos médicos (denunciantes) que denuncien a otros que muestren incompetencia o tengan un comportamiento no ético, fraudulento o engañoso, y no se participará en acciones punitivas o de represalia contra ellos.
- o) *Examen del trabajo de otro físico médico (titular)*: Al menos puede haber dos categorías de exámenes: los que inicia el físico titular como parte de un proceso permanente de GC y los que inicia otra persona. Ya se han publicado procedimientos y directrices relacionados con los exámenes iniciados por el titular [31]. En el caso de exámenes no iniciados por el físico titular, el OIEA (al igual que la AAPM y otras asociaciones profesionales) no corrobora ni rechaza el proceso de examen. En aras de proteger los derechos de los titulares en tales casos, a continuación se indican las expectativas legítimas de que podría gozar el titular:
 - i) El examen debería correr a cargo de un físico médico homólogo cualificado, es decir, un FMCC que posea credenciales semejantes o superiores y que esté familiarizado con el tipo de entorno profesional. El físico médico que sea sometido al examen debería recibir una llamada de cortesía del examinador para establecer fechas mutuamente convenientes y comunicar los procesos y objetivos del examen.
 - ii) Siempre que sea posible, el examinador no debería tener ninguna relación profesional presente o anterior con la entidad que solicite el examen, es decir, ninguna relación estrecha personal, profesional o relacionada con la capacitación.
 - iii) El físico médico sometido a examen debería recibir un ejemplar del informe final en forma oral y por escrito.
 - iv) Debería mantenerse la confidencialidad durante todo el proceso de examen.
 - v) El examen del titular debe realizarse con todo cuidado de modo que no se ponga en peligro su puesto innecesariamente (por ejemplo, expresando opiniones o juicios que vayan más allá de los datos presentados). El proceso debería utilizarse para crear oportunidades de mejora (y/o de mejora del medio de trabajo, el equipo, el personal, etc.) para todos los interesados, así como para la comunidad en general.

I.2.2. Directrices de ética investigativa

Las investigaciones biomédicas, incluso las que realizan los físicos médicos o aquellas en que participan, tienen su propio conjunto de obligaciones éticas a las que deberían adherirse firmemente los investigadores y otras personas dedicadas a la investigación. Las obligaciones éticas surgen en el diseño y ejecución de la investigación, el acopio e interpretación de los datos derivados de la investigación, la publicación de los informes y las monografías científicas en que se reseñan las investigaciones, la gestión de la propiedad intelectual dimanante de las investigaciones y las relaciones del grupo de investigación con los patrocinadores financieros de la actividad. Las deficiencias en el cumplimiento de las normas éticas pueden comprometer la aceptación de los resultados de la investigación y dañar gravemente la carrera de los investigadores responsables de esos resultados.

- a) *Adquisición, gestión, intercambio y propiedad de los datos de las investigaciones*: Los físicos médicos deberían asegurar que todos los datos reunidos durante un estudio sean reales y que no haya habido ninguna invención, falsificación de datos o plagio. Todos los físicos médicos del grupo deberían respetar la confidencialidad de los datos de la investigación y no revelar datos a otros científicos o el público sin el consentimiento de todos los miembros del grupo. Los miembros del grupo de investigación deberían comprender plenamente quién es el propietario de los datos de la investigación.
- b) *Conflicto de intereses*: El conflicto de intereses más debatido es el de carácter financiero, en que uno o más miembros del grupo de investigación o sus familiares inmediatos esperan obtener beneficios financieros si los resultados o los informes de la investigación culminan de cierta forma. Si es importante, ese conflicto debería notificarse. Por ejemplo, los Institutos Nacionales de Salud (NIH) de los Estados Unidos han establecido un beneficio financiero de 10 000 dólares como límite por encima del cual los investigadores apoyados por los NIH deben comunicar un conflicto de intereses a su institución empleadora. Es posible que exista un conflicto de intereses con respecto a una investigación propuesta o real aun cuando no haya posibles beneficios financieros. Por ejemplo, los investigadores adquieren prestigio entre sus homólogos y en su institución u organización si los resultados de su investigación son positivos y progresivos. No hay nada intrínsecamente malo en un conflicto de intereses, pero este debería reconocerse para eliminar la percepción de una posible conducta incorrecta. La mejor protección contra las acusaciones de conflictos de intereses es la total revelación y la adquisición, interpretación y publicación de los

resultados de las investigaciones de una manera transparente y por encima de toda sospecha.

- c) *Investigaciones con seres humanos*: Las investigaciones en que participan seres humanos deberían adherirse al Principio 15 del Informe Belmont [35], a saber: “respeto por las personas, beneficencia y justicia”. El respeto por las personas reconoce la autonomía de las personas y el derecho de cada voluntario participante en una investigación a ser tratado con respeto, a ser informado plenamente sobre la investigación y sus beneficios y riesgos potenciales, y a que se reconozca su capacidad para decidir por sí mismos si participan en la investigación. La beneficencia garantiza la obtención de algún beneficio potencial de la investigación, para los propios participantes, para otros con condiciones semejantes que puedan beneficiarse en el futuro o para la sociedad en general. Por justicia se entiende que los posibles participantes en un estudio no queden excluidos sin una razón válida para su exclusión. La mayoría de las instituciones se adhieren a la “norma general” que establece que todos los seres humanos que participen en una investigación están sujetos al mismo grado de supervisión y sigue las orientaciones de los principios consagrados en el Informe Belmont [35].
- d) *Mala conducta en la investigación*: Ejemplos concretos de mala conducta en la investigación son la invención de datos, la falsificación de datos y el plagio. Por invención de datos se entiende la producción artificial de datos de investigación en lugar de la adquisición de datos mediante experimentos. La falsificación consiste en la manipulación de datos mediante la elección selectiva de solo los datos que apoyan una hipótesis de investigación. El plagio es la representación tergiversada de datos de otro investigador como suyos propios. Estas violaciones éticas son infracciones intencionadas que la comunidad de investigadores considera abominables e intolerables.
- e) *Bienestar de los animales*: Los animales deberían utilizarse en las investigaciones solo cuando no hubiera otra alternativa. Los investigadores tienen la obligación moral de manejar los animales empleados para investigaciones experimentales con humanidad y respeto. Los investigadores acatarán las leyes y normas pertinentes en relación con sus investigaciones, sus normas de laboratorio y sus organismos de financiación.
- f) *Colaboración científica*: La investigación suele ser de carácter cooperativo e interdisciplinario; el concepto del trabajo independiente de un solo investigador en el laboratorio es raro hoy día. Invariablemente, la actividad investigativa consiste en una asociación en que participan varias personas de distintas disciplinas y, con frecuencia de diversas instituciones. Los colaboradores en la investigación tratarán a todos los miembros del grupo con respeto y confianza. Todos los colaboradores deberán mantener

el carácter confidencial de la investigación y sus resultados hasta que convengan en su presentación y publicación.

- g) *Autoría:* La autoría de una publicación científica debería reservarse únicamente a las personas que hayan contribuido notablemente a la concepción y el diseño de una investigación y/o al acopio, análisis e interpretación de los datos dimanantes de la investigación. La autoría también implica que la persona intervino directamente en la redacción y revisión de la publicación. Se desalienta a los autores a otorgar la autoría a una persona que no haya contribuido considerablemente a la publicación.
- h) *Edición y examen por homólogos:* El editor se encarga de garantizar que el proceso de examen por homólogos de la publicación sea objetivo y justo, y que los exámenes no contengan críticas despectivas u observaciones denigrantes. Los editores deberían retirarse del proceso si tienen un conflicto de intereses relacionado con la investigación notificada que pudiera comprometer su objetividad. El editor y los examinadores están obligados éticamente a garantizar el carácter confidencial de los exámenes y proteger la identidad de los autores y/o examinadores cuando los exámenes sean de simple ciego o doble ciego. La integridad de la investigación depende mucho del proceso de examen por homólogos, es decir, que el trabajo hecho sea transparente y que esté sujeto al examen de científicos homólogos. El examen por homólogos siempre debería realizarse con total objetividad, honestidad, exhaustividad y confidencialidad, y con respeto por quienes efectúan el examen y por aquellos cuyo trabajo se examina. Los examinadores deberán recordar que el trabajo que examinan es confidencial y que no debe revelarse a nadie ajeno al grupo de examen. No deberán apropiarse del trabajo ni de ninguno de los resultados para utilizarlos en su propia investigación, aun cuando puedan estar trabajando en una esfera semejante.
- i) *Conflictos de intereses de autores o examinadores:* Los autores deberían comunicar cualquier conflicto de intereses que puedan tener con respecto a la investigación presentada en una publicación científica. Las personas a quienes se pida que examinen documentos deberían declinar la invitación de la publicación de realizar el examen si tienen un conflicto de intereses asociado a la investigación objeto del informe o si mantienen una relación personal con los autores que pudiera comprometer su objetividad.
- j) *Privacidad y confidencialidad:* Los autores respetarán la confidencialidad de los pacientes y no revelarán su identidad en publicaciones u otros materiales. Esta protección de la privacidad abarca también a las personas que participan voluntariamente en investigaciones con seres humanos.
- k) *Publicaciones superpuestas:* No es ético que un autor presente en forma simultánea o sucesiva para su publicación sustancialmente el mismo

material a dos o más revistas a menos que lo autoricen los editores de todas las publicaciones afectadas, salvo en el caso de manuscritos rechazados.

I.2.3. Directrices de ética pedagógica

Los contextos pedagógicos formales presentan un entorno que ofrece al estudiante la oportunidad de absorber la atmósfera intelectual y ética de la institución y sus educadores. Así, es sumamente importante que los docentes y educadores muestren las más altas normas éticas y que los estudiantes comiencen a practicar la conducta ética que les guiará durante el resto de su carrera. En esta sección sobre la ética pedagógica se aplican las siguientes definiciones: por “docente” se entiende cualquier persona encargada de la enseñanza o supervisión de un estudiante que participe en un programa de enseñanza o capacitación; por “estudiante” se entiende una persona que participe en un programa de enseñanza o capacitación. Se supone que todas las actividades que realiza un estudiante en un medio clínico se llevan a cabo bajo la supervisión directa del docente, y el estudiante debería ser consciente de esta responsabilidad médico-jurídica en todo momento.

a) Directrices para el docente:

- i) *Culminación del programa del estudiante*: Los docentes se esforzarán por contribuir al desarrollo intelectual de sus estudiantes y por apoyarlos para que alcancen sus objetivos educativos. Los docentes orientarán a los estudiantes para lograr la eficiencia. En sus actividades encaminadas a alcanzar estos objetivos los estudiantes confiarán sus resultados académicos a sus docentes, asesores y mentores. Los docentes actuarán en tal condición como defensores de sus estudiantes. Por ejemplo, aunque un elemento de la enseñanza de un estudiante sea un trabajo basado en subvenciones institucionales o proyectos de investigación que beneficien fundamentalmente al docente o la institución, ese trabajo no debería retrasar indebidamente el progreso general del estudiante.
- ii) *Medio seguro*: Los docentes promoverán un medio seguro para el aprendizaje y educarán a los estudiantes en relación con los peligros y los métodos para controlar y minimizar los riesgos potenciales.
- iii) *Respeto por los estudiantes*: Los docentes interactuarán con los estudiantes en forma respetuosa. Los docentes detentan una posición de poder y autoridad y les incumbe la responsabilidad de relacionarse con los estudiantes de manera positiva. Su comunicación verbal, no verbal y escrita con los estudiantes debería ser constructiva y razonada con la intención de perfeccionar su experiencia académica.

- iv) *No discriminación*: Los docentes tratarán a todos los estudiantes con justicia e igualmente sin distinción de edad, raza, color, credo, sexo, origen nacional, estado civil, creencias políticas o religiosas, familia, antecedentes sociales o culturales u orientación sexual.
- v) *Igualdad de oportunidades*: Los docentes considerarán con imparcialidad a todos los estudiantes en lo referente a su participación en cualquier programa o a la obtención de beneficios que puedan ayudar al estudiante incluidos, entre otros, la asistencia a reuniones científicas o programas de capacitación, proyectos de investigación, pasantías y becas.
- vi) *Confidencialidad en relación con los estudiantes*: La confianza intrínseca en una buena relación docente-estudiante se dañará de manera irrevocable si un docente divulga casualmente información confidencial. Los docentes mantendrán la confidencialidad de la información no pública del estudiante. Las evaluaciones de las actividades del estudiante junto con las comunicaciones verbales y electrónicas entre el docente y el estudiante serán confidenciales a menos que se exija documentar los trabajos del estudiante.
- vii) *Relaciones consensuales con estudiantes*: Deberían evitarse relaciones consensuales o románticas entre docentes y estudiantes. El docente asume la responsabilidad primordial de garantizar que se mantengan relaciones correctas.
- viii) *Acoso sexual*: Es inaceptable el acoso sexual de un estudiante por parte de un docente. Se entiende por acoso sexual una proposición sexual importuna, una solicitud de favores sexuales u otra conducta verbal o física de índole sexual, y toda conducta que cree directa o indirectamente un medio hostil.
- ix) *Reconocimiento del trabajo de un estudiante o de otros*: Los docentes reconocerán y citarán los trabajos anteriores de otros si se utilizan en sus presentaciones en medios audiovisuales de enseñanza o en sus materiales pedagógicos. Los docentes reconocerán la asistencia académica o especializada importante de los estudiantes. Este reconocimiento podrá ser un reconocimiento del estudiante como coautor de una publicación. En la sección relativa a la ética investigativa se explica la relación mentor-cursillista o investigador-estudiante y las cuestiones asociadas con la autoría.
- x) *Evaluación justa*: Los docentes harán evaluaciones justas de las actividades del estudiante y documentarán esas evaluaciones en el registro del estudiante cuando proceda.

- xi) *Libertad intelectual y académica*: Los docentes promoverán una atmósfera abierta de investigación científica y un medio libre de presiones y obstáculos de índole política, ideológica o religiosa.
- b) Directrices para el estudiante:
 - i) *Examen e inspección de registros personales*: Los estudiantes tienen derecho a examinar e inspeccionar sus registros personales. Podrán solicitar enmiendas en sus registros si pueden demostrar que no son correctos.
 - ii) *Protección de denunciantes*: Los estudiantes tendrán libertad para comunicar violaciones del código aplicable o proporcionar información al respecto sin temor de intimidación y/o represalias.
 - iii) *Requisitos de trabajo del programa académico*: Los estudiantes tienen derecho a esperar que la culminación del programa académico no dependa de la realización de un trabajo para un docente o institución que no sea una parte formal y documentada del programa académico.
 - iv) *Requisitos del programa*: Los estudiantes tendrán derecho a ser informados y a que se les definan claramente los requisitos para la terminación de su programa académico.
 - v) *Adhesión a políticas y procedimientos institucionales*: Los estudiantes se adherirán a las políticas y los procedimientos de su institución.
 - vi) *Honestidad e integridad académicas*: Los estudiantes observarán y mantendrán la honestidad e integridad académicas. Son ejemplos de deshonestidad académica hacer trampa, cometer plagio, falsificar o inventar información o datos y la colaboración no autorizada.
 - vii) *Reconocimiento del trabajo de otros*: Los estudiantes deberán reconocer cabalmente los trabajos anteriores de otros al incluirlos en su propio trabajo.
 - viii) *Libertad de expresión*: Los estudiantes respetarán la libertad de expresión de los demás.
 - ix) *Confidencialidad institucional y en relación con los pacientes*: Los estudiantes respetarán la confidencialidad de la información institucional y de los pacientes.
 - x) *Respeto por los estudiantes, docentes, empleados y pacientes*: Los estudiantes interactuarán con otros estudiantes, docentes, empleados y pacientes de manera respetuosa. Respetarán y apoyarán la participación en clase de otros estudiantes.
 - xi) *Respeto por la propiedad institucional*: Los estudiantes no utilizarán información, datos o propiedad profesionales de un docente o institución que no formen parte de sus materiales educativos para su propia práctica profesional sin una autorización expresa. Podría tratarse de propiedad intelectual o física. Algunos ejemplos son los

procedimientos institucionales, políticas, hojas de trabajo, listas de comprobación, programas de GC, medios didácticos, presentaciones y protocolos de investigación. Aunque un docente o institución puede permitir o divulgar ese tipo de información o datos, incumbe a los estudiantes la responsabilidad de obtener la autorización para utilizarlos.

Apéndice II

DOSIMETRISTAS MÉDICOS – FUNCIONES Y APTITUDES

El dosimetrista médico es un miembro del grupo de radioterapia que posee conocimientos de las características generales de las máquinas y el equipo de radioterapia, conoce los procedimientos que se emplean normalmente en la teleterapia y la braquiterapia y posee la enseñanza y la experiencia necesarias para generar distribuciones de dosis de radiación y cálculos de dosis en colaboración con el físico médico y el radiooncólogo. Los dosimetristas médicos se educan para cumplir funciones bajo la supervisión de los FMCC y los radiooncólogos. En todas las referencias que se hacen en esta publicación a decisiones, acciones realizadas y comunicaciones se presupone que existe una supervisión apropiada y que la utiliza el dosimetrista médico. Además, en muchas tareas que llevan a cabo los dosimetristas médicos se cuenta con la participación de otros miembros del grupo de radioterapia, como los radioterapeutas y enfermeros. En las distintas instituciones, los niveles relativos de responsabilidad varían entre los diversos miembros del grupo para cumplir una tarea determinada.

La información sobre las funciones y aptitudes de los dosimetristas médicos que figura en este apéndice se obtuvo de la AAMD [36] y se presenta con cambios insignificantes en el texto y el formato. Se incluye una descripción del puesto recomendada por la AAMD en que se indican las funciones, aptitudes y cualificaciones principales de los dosimetristas médicos de América del Norte. Se alienta a las instituciones que la utilicen como modelo a que la modifiquen según las condiciones locales si procede o resulta aplicable.

II.1. PRINCIPALES FUNCIONES DE LOS DOSIMETRISTAS MÉDICOS

- a) Concebir un plan de tratamiento por computadora y/o cálculo manual que administre una dosis de radiación prescrita y aplique una técnica de colocación de campos de conformidad con la prescripción del radiooncólogo en un volumen de tumor definido.
- b) Considerar las estructuras de limitación de dosis en el diseño de los planes de tratamiento y documentar la dosis con arreglo a la prescripción del radiooncólogo.
- c) Coordinar las simulaciones del tratamiento y la localización del tumor en dispositivos especializados, incluso TC, MRI y PET cuando se indique, para la planificación del tratamiento radioterapéutico según las directrices institucionales.

- d) Supervisar y llevar a cabo la planificación de la fabricación y el CC de filtros de compensación, blindajes especiales, cuñas y otros dispositivos modificadores del haz o ayudar en esa tarea.
- e) Supervisar y llevar a cabo la planificación de la producción y el CC de moldes, yesos y otros dispositivos de inmovilización, o ayudar en esa tarea.
- f) Supervisar al personal terapéutico en la aplicación del plan de tratamiento, incluso en el uso correcto de dispositivos de inmovilización, compensadores, cuñas, la organización de campos y otras variables de tratamiento.
- g) Efectuar cálculos para la administración exacta de la dosis prescrita por el radiooncólogo, documentar toda la información pertinente en el registro del paciente y verificar la exactitud matemática de todos los cálculos empleando un sistema establecido por el físico médico.
- h) Prestar apoyo técnico y de física al físico médico en materia de protección radiológica, calibraciones cualitativas de máquinas y GC del equipo de radiooncología.
- i) Supervisar y aplicar métodos concretos de dosimetría, incluso dosimetría de cámaras de ionización, dosimetría por termoluminiscencia o medición con película, siguiendo las orientaciones del físico médico, o ayudar en su aplicación.
- j) Ayudar en los procedimientos de braquiterapia intracavitaria e intersticial y en el cálculo manual o informatizado posterior de las distribuciones de dosis de estos tratamientos bajo la supervisión del FMCC.
- k) Impartir enseñanza sobre los aspectos aplicados de la dosimetría médica a estudiantes y residentes designados.
- l) Participar en investigaciones clínicas para el desarrollo y aplicación de nuevas técnicas.
- m) Participar en la enseñanza continua de las técnicas actuales de planificación del tratamiento y los adelantos de la dosimetría médica.

II.2. APTITUDES NECESARIAS DEL DOSIMETRISTA MÉDICO

- a) Debe ser capaz de comprender los aspectos técnicos de la radioterapia y la física médica para deducir planes de tratamiento informatizados y comunicar estos aspectos al radiooncólogo para la aprobación del plan y al radioterapeuta para su aplicación.
- b) Realiza tareas ordinarias independientes de supervisión, pero consulta al radiooncólogo y el físico médico cuando es necesario.
- c) Opera y realiza actividades de GC bajo la dirección del físico médico en la computadora utilizada para la planificación del tratamiento.

- d) Posee conocimientos prácticos de seguridad radiológica y de las normas y reglamentaciones vigentes de la autoridad reguladora local o nacional (por ejemplo, la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos).
- e) Tiene la capacidad para interpretar y ejecutar planes de tratamiento definidos en las directrices de tratamiento correspondientes.
- f) Debe poseer aptitudes matemáticas, entre ellas, álgebra, trigonometría y cálculo introductorio, y ser capaz de visualizar objetos en conceptos tridimensionales para facilitar el proceso de planificación del tratamiento.

REFERENCIAS

- [1] SMITH, P.H.S., NUSSLIN, F., Benefits to medical physics from the recent inclusion of medical physicists in the international classification of standard occupations (ICSO-08), *Med. Phys. Int. J.* **1** (2013) 10–14.
- [2] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR MEDICAL PHYSICS, *The Medical Physicist: Role and Responsibilities*, Working Group on Policy Statement No. 1, IOMP, York, UK (2010).
- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad - Edición provisional*, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 3 (Interim), OIEA, Viena (2011)
- [4] CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, Directiva 97/43/Euratom del Consejo de 30 de junio de 1997 relativa a la protección de la salud frente a los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes en exposiciones médicas, *Diario Oficial* N° L 180/22 (1997).
- [5] COMISIÓN EUROPEA, Propuesta de Directiva del Consejo por la que se establecen las normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes (COM/2011/0593 final — 2011/0254 (NLE)) (2011).
- [6] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, *The Role of a Physicist in Radiation Oncology*, Rep. No. 38, AAPM, College Park, MD (1993).
- [7] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, *Staffing Levels and Responsibilities of Physicists in Diagnostic Radiology*, Rep. No. 33, AAPM, College Park, MD (1991).
- [8] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, *The Role of the Clinical Medical Physicist in Diagnostic Radiology*, Rep. No. 42, AAPM, College Park, MD (1994).
- [9] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, *A Guide to the Teaching of Clinical Radiological Physics to Residents in Diagnostic and Therapeutic Radiology*, Rep. No. 64, AAPM, College Park, MD (1999).
- [10] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR MEDICAL PHYSICS, *Statement of Collaboration between IOMP and IRPA on the Use of Ionizing Radiation in Health Care*, eMPW **3** 2 (2012) 10–12, http://www.iomp.org/sites/default/files/empw-32_0.pdf
- [11] INSTITUTE OF PHYSICS AND ENGINEERING IN MEDICINE, *Recommendations for the Provision of a Physics Service to Radiotherapy*, IPEM, York, UK (2009).
- [12] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, *The Solo Practice of Medical Physics in Radiation Oncology*, Rep. No. 80, AAPM, College Park, MD (2003).
- [13] EUROPEAN FEDERATION OF ORGANISATIONS FOR MEDICAL PHYSICS, *Criteria for the staffing levels in a medical physics department*, EFOMP Policy Statement No. 7, *Phys. Medica* **XIII** (1997) 187–194.
- [14] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *El físico médico: Criterios y recomendaciones para su formación académica, entrenamiento clínico y certificación en América Latina*, *Informes sobre Salud Humana del OIEA* N° 1, OIEA, Viena (2010).

- [15] TABAKOV, S., SPRAWLS, P., KRISANACHINDA, A., LEWIS, C. (Eds), *Medical Physics and Engineering Education and Training (Part I)*, ICTP Press, Trieste, Italy (2011).
- [16] ROBERTS, C., TABAKOV, S., LEWIS, C. (Eds), *Medical Radiation Physics: A European Perspective (CEC Project CIPA 3510 CT 92 2623)*, King's College School of Medicine and Dentistry, London (1995).
- [17] EUDALDO, T., OLSEN, K., *The European Federation of Organisations for Medical Physics, Policy Statement No. 12: The present status of Medical Physics Education and Training in Europe, New perspectives and EFOMP recommendations*, *Phys. Medica* **26** (2010) 1–5.
- [18] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR MEDICAL PHYSICS, *Basic Requirements for Education and Training of Medical Physicists, Working Group on Policy Statement No. 2*, IOMP, York, UK (2010).
- [19] EUDALDO, T., OLSEN, K., *The present status of Medical Physics Education and Training in Europe: an EFOMP survey*, *Phys. Medica* **24** (2008) 3–20.
- [20] EUROPEAN COMMISSION, *Project on Medical Physics Expert (TREN/09/NUCL/SI2.549828) — Draft Qualification and Curriculum Frameworks for the Medical Physics Expert in Europe (2010–2012)*, <http://portal.ucm.es/web/medical-physics-expert-project>
- [21] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*, IAEA, Vienna (2005).
- [22] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students*, IAEA, Vienna (2013).
- [23] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Nuclear Medicine Physics: A Handbook for Teachers and Students*, IAEA, Vienna (in preparation).
- [24] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, *Academic Program Recommendations for Graduate Degrees in Medical Physics*, Rep. No. 197, AAPM, College Park, MD (2009).
- [25] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, *Essentials and Guidelines for Hospital-based Medical Physics Residency Training Programs*, Rep. No. 90, AAPM, College Park, MD (2006).
- [26] INSTITUTE OF PHYSICS AND ENGINEERING IN MEDICINE, *Training Prospectus for Medical Physicists and Clinical Engineers in Health Care*, IPEM, London (2010).
- [27] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Capacitación clínica para físicos médicos especialistas en radiooncología*, Colección Cursos de Capacitación, N° 37, OIEA, Viena (2012)
- [28] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Capacitación clínica de físicos médicos especialistas en radiodiagnóstico*, Colección Cursos de Capacitación, N° 47, OIEA, Viena (2013).
- [29] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, *Capacitación clínica de físicos médicos especialistas en medicina nuclear*, Colección Cursos de Capacitación, N° 50, OIEA, Viena (2013).
- [30] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, *Alternative Clinical Training Pathways for Medical Physicists*, Rep. No. 133, AAPM, College Park, MD (2008).

- [31] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, The Essential Medical Physics Didactic Elements for Physicists Entering the Profession through an Alternative Pathway (Suppl. to Report 197), Rep. No. 197S, AAPM, College Park, MD (2011).
- [32] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Code of Ethics for the American Association of Physicists in Medicine, Rep. No. 109, AAPM, College Park, MD (2009).
- [33] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, Recommended Ethics Curriculum for Medical Physics Graduate and Residency Programs, Rep. No. 159, AAPM, College Park, MD (2010).
- [34] HEALTH AND CARE PROFESSIONS COUNCIL, Standards of Conduct, Performance and Ethics (2012), <http://www.hpc-uk.org/aboutregistration/standards/standardsofconductperformanceandethics/>
- [35] THE NATIONAL COMMISSION FOR THE PROTECTION OF HUMAN SUBJECTS OF BIOMEDICAL AND BEHAVIORAL RESEARCH, The Belmont Report, Ethical Principles and Guidelines for the Protection of Human Subjects of Research (1979), <http://www.hhs.gov/ohrp/humansubjects/guidance/belmont.html>
- [36] AMERICAN ASSOCIATION OF MEDICAL DOSIMETRISTS, <http://www.medicaldosimetry.org/generalinformation/description.cfm>

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

AAMD	Asociación Americana de Dosimetristas Médicos
AAPM	Asociación Americana de Físicos en Medicina
CC	control de calidad
DIR	radiología diagnóstica e intervencionista
DRL	nivel de referencia diagnóstico
EFOMP	Federación Europea de Organizaciones de Física Médica
FMCC	físico médico clínicamente cualificado
GC	garantía de calidad
IGRT	radioterapia guiada por imágenes
IMRT	radioterapia de intensidad modulada
IOMP	Organización Internacional de Física Médica
IPEM	Instituto de Física e Ingeniería Médicas
MRI	obtención de imágenes por resonancia magnética
NBS	Normas básicas de seguridad
NIH	Institutos Nacionales de la Salud
OPR	oficial de protección radiológica
PET	tomografía por emisión de positrones
SPECT	tomografía computarizada por emisión de fotón único
SPT	sistema de planificación del tratamiento
TC	tomografía computarizada
TI	tecnología de la información

COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y REVISIÓN

Andreo, P.	Universidad de Estocolmo (Suecia)
Brandan, M. E.*	Universidad Nacional Autónoma de México (México)
Castellanos, M. E.*	Pontificia Universidad Javeriana (Colombia)
Cheung, K. Y.**	Sanatorio y Hospital de Hong Kong (China)
Constantinou, C.	Centro Oncológico del Banco de Chipre (Chipre)
Frey, G. H.***	Universidad Médica de Carolina del Sur (Estados Unidos de América)
Ige, T. A. ⁺	Hospital Nacional (Nigeria)
Le Heron, J. C.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Lopes, M. C.**	Instituto Portugués de Oncología de Coimbra (Portugal)
Meghzifene, A.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Ramahi, S.	Centro de Cáncer Rey Hussein (Jordania)
Van der Merwe, D.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Van der Putten, W.	Organismo Internacional de Energía Atómica

* También en representación de la Asociación Latinoamericana de Física Médica.

** También en representación de la Organización Internacional de Física Médica.

*** También en representación de la Asociación Americana de Físicos en Medicina.

⁺ También en representación de la Federación de Organizaciones Africanas de Física Médica.



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Nº 23

PEDIDOS FUERA DEL OIEA

En los siguientes países, las publicaciones de pago del OIEA pueden adquirirse por medio de los proveedores que se indican a continuación, o en las principales librerías locales.

Los pedidos de publicaciones gratuitas deben hacerse directamente al OIEA. Al final de la lista de proveedores se proporcionan los datos de contacto.

ALEMANIA

Goethe Buchhandlung Teubig GmbH

Schweitzer Fachinformationen

Willstätterstrasse 15, 40549 Düsseldorf, ALEMANIA

Teléfono: +49 (0) 211 49 8740 • Fax: +49 (0) 211 49 87428

Correo electrónico: s.dehaan@schweitzer-online.de • Sitio web: <http://www.goethebuch.de>

AUSTRALIA

DA Information Services

648 Whitehorse Road, Mitcham, VIC 3132, AUSTRALIA

Teléfono: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788

Correo electrónico: books@dadirect.com.au • Sitio web: <http://www.dadirect.com.au>

BÉLGICA

Jean de Lannoy

Avenue du Roi 202, 1190 Bruselas, BÉLGICA

Teléfono: +32 2 5384 308 • Fax: +32 2 5380 841

Correo electrónico: jean.de.lannoy@euronet.be • Sitio web: <http://www.jean-de-lannoy.be>

CANADÁ

Renouf Publishing Co. Ltd.

5369 Canotek Road, Ottawa, ON K1J 9J3, CANADÁ

Teléfono: +1 613 745 2665 • Fax: +1 643 745 7660

Correo electrónico: order@renoufbooks.com • Sitio web: <http://www.renoufbooks.com>

Bernan Associates

4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4391, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Teléfono: +1 800 865 3457 • Fax: +1 800 865 3450

Correo electrónico: orders@bernan.com • Sitio web: <http://www.bernan.com>

ESLOVENIA

Cankarjeva Založba dd

Kopitarjeva 2, 1515 Liubliana, ESLOVENIA

Teléfono: +386 1 432 31 44 • Fax: +386 1 230 14 35

Correo electrónico: import.books@cankarjeva-z.si • Sitio web: http://www.mladinska.com/cankarjeva_zalozba

ESPAÑA

Díaz de Santos, S.A.

Librerías Bookshop • Departamento de pedidos

Calle Albasanz 2, esquina Hermanos García Noblejas 21, 28037 Madrid, ESPAÑA

Teléfono: +34 917 43 48 90 • Fax: +34 917 43 4023

Correo electrónico: compras@diazdesantos.es • Sitio web: <http://www.diazdesantos.es>

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Bernan Associates

4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4391, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Teléfono: +1 800 865 3457 • Fax: +1 800 865 3450

Correo electrónico: orders@bernan.com • Sitio web: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Co. Ltd.

812 Proctor Avenue, Ogdensburg, NY 13669, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Teléfono: +1 888 551 7470 • Fax: +1 888 551 7471

Correo electrónico: orders@renoufbooks.com • Sitio web: <http://www.renoufbooks.com>

FINLANDIA

Akateeminen Kirjakauppa

PO Box 128 (Keskuskatu 1), 00101 Helsinki, FINLANDIA

Teléfono: +358 9 121 41 • Fax: +358 9 121 4450

Correo electrónico: akatilaus@akateeminen.com • Sitio web: <http://www.akateeminen.com>

FRANCIA

Form-Edit

5 rue Janssen, PO Box 25, 75921 París CEDEX, FRANCIA

Teléfono: +33 1 42 01 49 49 • Fax: +33 1 42 01 90 90

Correo electrónico: fabien.boucard@formedit.fr • Sitio web: <http://www.formedit.fr>

Lavoisier SAS

14 rue de Provigny, 94236 Cachan CEDEX, FRANCIA

Teléfono: +33 1 47 40 67 00 • Fax: +33 1 47 40 67 02

Correo electrónico: livres@lavoisier.fr • Sitio web: <http://www.lavoisier.fr>

L'Appel du livre

99 rue de Charonne, 75011 París, FRANCIA

Teléfono: +33 1 43 07 50 80 • Fax: +33 1 43 07 50 80

Correo electrónico: livres@appeldulivre.fr • Sitio web: <http://www.appeldulivre.fr>

HUNGRÍA

Librotade Ltd., Book Import

PF 126, 1656 Budapest, HUNGRÍA

Teléfono: +36 1 257 7777 • Fax: +36 1 257 7472

Correo electrónico: books@librotade.hu • Sitio web: <http://www.librotade.hu>

INDIA

Allied Publishers

1st Floor, Dubash House, 15, J.N. Heredi Marg, Ballard Estate, Bombay 400001, INDIA

Teléfono: +91 22 2261 7926/27 • Fax: +91 22 2261 7928

Correo electrónico: alliedpl@vsnl.com • Sitio web: <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell

3/79 Nirankari, Delhi 110009, INDIA

Teléfono: +91 11 2760 1283/4536

Correo electrónico: bkwell@nde.vsnl.net.in • Sitio web: <http://www.bookwellindia.com/>

ITALIA

Libreria Scientifica "AEIOU"

Via Vincenzo Maria Coronelli 6, 20146 Milán, ITALIA

Teléfono: +39 02 48 95 45 52 • Fax: +39 02 48 95 45 48

Correo electrónico: info@libreriaaeiou.eu • Sitio web: <http://www.libreriaaeiou.eu/>

JAPÓN

Maruzen Co., Ltd.

1-9-18 Kaigan, Minato-ku, Tokyo 105-0022, JAPÓN

Teléfono: +81 3 6367 6047 • Fax: +81 3 6367 6160

Correo electrónico: journal@maruzen.co.jp • Sitio web: <http://maruzen.co.jp>

NACIONES UNIDAS (ONU)

300 East 42nd Street, IN-919J, Nueva York, NY 1001, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Teléfono: +1 212 963 8302 • Fax: +1 212 963 3489

Correo electrónico: publications@un.org • Sitio web: <http://www.unp.un.org>

PAÍSES BAJOS

Martinus Nijhoff International

Koraalrood 50, Postbus 1853, 2700 CZ Zoetermeer, PAÍSES BAJOS

Teléfono: +31 793 684 400 • Fax: +31 793 615 698

Correo electrónico: info@nijhoff.nl • Sitio web: <http://www.nijhoff.nl>

Swets Information Services Ltd.

PO Box 26, 2300 AA Leiden

Dellaertweg 9b, 2316 WZ Leiden, PAÍSES BAJOS

Teléfono: +31 88 4679 387 • Fax: +31 88 4679 388

Correo electrónico: tbeysens@nl.swets.com • Sitio web: <http://www.swets.com>

REINO UNIDO

The Stationery Office Ltd. (TSO)

PO Box 29, Norwich, Norfolk, NR3 1PD, REINO UNIDO

Teléfono: +44 870 600 5552

Correo electrónico: (pedidos) books.orders@tso.co.uk • (consultas) book.enquiries@tso.co.uk •

Sitio web: <http://www.tso.co.uk>

REPÚBLICA CHECA

Suweco CZ, spol. S.r.o.

Klecakova 347, 180 21 Praga 9, REPÚBLICA CHECA

Teléfono: +420 242 459 202 • Fax: +420 242 459 203

Correo electrónico: nakup@suweco.cz • Sitio web: <http://www.suweco.cz>

Los pedidos de publicaciones, tanto de pago como gratuitas, se pueden enviar directamente a:

Sección Editorial del OIEA, Dependencia de Mercadotecnia y Venta,

Organismo Internacional de Energía Atómica

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Viena, Austria

Teléfono: +43 1 2600 22529 ó 22488 • Fax: +43 1 2600 29302

Correo electrónico: sales.publications@iaea.org • Sitio web: <http://www.iaea.org/books>

En la presente publicación se formulan recomendaciones internacionalmente armonizadas sobre las funciones y responsabilidades de los físicos médicos clínicamente cualificados que trabajan en una o más especialidades de la radioterapia, la medicina nuclear o la radiología diagnóstica e intervencionista. También se incluyen recomendaciones sobre los requisitos mínimos de enseñanza académica y capacitación clínica que debe cumplir un físico para estar clínicamente cualificado en una de estas especialidades. Esta publicación será particularmente útil para los profesionales que participan en la enseñanza y capacitación de físicos médicos en universidades y hospitales y para los profesionales que se dedican a la radiofísica médica. También revestirá importancia para las sociedades profesionales nacionales, los ministerios de salud y las autoridades reguladoras en la reglamentación de la profesión. La aplicación de estas recomendaciones, que han sido refrendadas por sociedades profesionales, garantizará la coherencia, así como la armonización de la práctica de la física médica en todo el mundo para beneficio de los pacientes.

COLECCIÓN DE SALUD HUMANA DEL OIEA

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA

ISBN 978-92-0-304514-8

ISSN 2075-3772