

# Física médica como profesión: El por qué de una educación de posgrado

*María Ester Brandan*

Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México

## La física médica

Física médica es la aplicación de principios, técnicas y herramientas de la física para la prevención, diagnóstico y terapia de las enfermedades del ser humano. Esta definición incluye, por ejemplo, el uso de núcleos radiactivos para obtener imágenes de un nódulo pulmonar sin necesidad de cirugía, la simulación del transporte de rayos X en el cuerpo de un paciente que será sometido a radioterapia para lograr el control de un tumor, la medida del grado de oxigenación sanguínea a través de la luz dispersada por la sangre de un recién nacido, y también la determinación de las propiedades elásticas de un ganglio linfático mediante la reflexión de ondas de ultrasonido para así evaluar la posible malignidad del tejido. Esta lista de situaciones de interés médico en que se aplica la física no difiere sustancialmente de los estudios que se abordan en física atómica, física del estado sólido o astrofísica. En todos ellos, las leyes básicas, el método científico, las herramientas y los modelos son los propios de la física. Solamente el objeto de estudio es diferente, en un caso son átomos, cristales o estrellas, y en física médica es un órgano o tejido –sano o enfermo- de un ser humano.

Somos testigos de una transformación permanente en el equipamiento de una clínica moderna (hay quien estima que cada 5 años la tecnología se renueva totalmente) y buena parte de estos avances se basa en descubrimientos realizados en un laboratorio de física, muchas veces sin anticipar una aplicación médica. Un ejemplo es la resonancia magnética, descubierta en haces moleculares, luego expan-

dida a sólidos y líquidos, y usada 30 años después para obtener imágenes de seres vivos. Hoy en día, todo servicio avanzado de imagen médica cuenta con un resonador magnético (conocido como MRI por Magnetic Resonance Imaging). El positrón fue predicho y descubierto en la década de los 30, y 20 años más tarde se demostró la factibilidad de usar fármacos marcados con núcleos emisores de positrones para la obtención de imágenes médicas funcionales (PET por Positron Emission Tomography).

Lo que distingue a la física médica del resto de áreas de aplicación de la física es que, además de las actividades propias de la investigación, ésta es también una profesión. Esta ocupación profesional, de acuerdo con la más reciente clasificación (ISCO-08) de la International Labour Organization ILO, sigue el esquema educativo y formativo de físicos y astrónomos, pero su ámbito de ejercicio profesional la define como “parte integral” de las profesiones de la Salud. Esta profesión se generó desde hace un siglo en Inglaterra y los Estados Unidos de América, países pioneros en el desarrollo de tecnologías médicas provenientes de la física. A los pocos años del uso de los rayos X para obtener radiografías, y cuenta habida de las consecuencias de la exposición excesiva de los primeros médicos radiólogos a esta nueva forma de radiación, fue evidente la necesidad de contar en el hospital con físicos especializados en las aplicaciones médicas de la radiación. Éstos podían cuantificar la dosis absorbida y ejercer la protección radiológica de pacientes, personal y público. La magnitud “dosis absorbida” se define como la energía impartida por la radiación ionizante a un objeto, normalizada por la masa del objeto. Después de la Segunda Guerra Mundial, la disponibilidad de fuentes radiactivas y aceleradores lineales para realizar radioterapia hizo indis-

pensable la presencia del físico conocedor de la interacción de la radiación con el cuerpo del paciente, entrenado para controlar la correcta impartición de la energía ionizante, y capaz de medir la dosis absorbida en el tumor y en el tejido sano.

Las características de la profesión del físico médico exigen una educación y entrenamiento diferentes de lo habitual para los físicos que ejercen en el medio académico. Quienes laboramos en una universidad estudiamos una licenciatura seguida de estudios de posgrado, algunos tuvimos también un “entrenamiento” posdoctoral y, después de todo esto (que puede sumar unos 12 años de formación), nos consideramos preparados para realizar investigación y docencia.

Este artículo se refiere a la profesión del físico médico y los requisitos para su educación y entrenamiento clínico. Esta reflexión ha sido motivada por la discusión reciente en medios académicos mexicanos respecto del nivel educativo apropiado para formar a este profesional. La opinión de la autora coincide con las recomendaciones internacionales que establecen que su educación debe ser al nivel de un posgrado, idealmente a través de una maestría en ciencias con especialidad en física médica.

### La profesión

La principal responsabilidad del físico médico clínico (aquel profesional que labora en un hospital o servicio de salud) es optimizar el uso de la radiación ionizante para que un procedimiento diagnóstico o terapéutico sea “de calidad”. La radiación ionizante (ondas y partículas con energía cinética superior a unos pocos eV, y por esto capaces de ionizar un átomo o molécula y así modificar su estructura) incluye –entre otros— a los rayos X de los equipos de diagnóstico (tubos y tomógrafos), los rayos X producidos por los aceleradores lineales usados en radioterapia (incluyendo los modernos equipos de tomoterapia y cyberknife), los rayos gamma de los irradiadores de cobalto, y los fotones de aniquilación del positrón que se emiten desde el interior del paciente en un tomógrafo PET. El ámbito profesional tradicional del físico médico se ha ampliado en la actualidad para incluir toda tecnología con aplicación médica, en particular el uso de formas no ionizantes de radiación, como el ultrasonido y la resonancia magnética.

En cada sesión de un tratamiento de radioterapia (generalmente, una sesión diaria durante 15-20 días) el volumen tumoral recibe una dosis comparable con la dosis letal para un ser humano. En los servicios de radioterapia, la presencia de un físico médico es indispensable; éste participa en toda la cadena del tratamiento con radiación, desde la discusión sobre el mejor uso de la tecnología, la selección del tratamiento, hasta la impartición segura de la radiación. Su principal responsabilidad puede resumirse como “garantizar que la dosis será impartida en el lugar preciso y en la magnitud prescrita”.

Los servicios clínicos de imágenes (rayos-X, fluoroscopia, mamografía, tomografía de rayos X CT, cintigrafía gamma, PET, resonancia magnética, ultrasonido, entre otras técnicas) también requieren de físicos médicos para brindar el óptimo servicio. A medida que la tecnología se expande hacia nuevas aplicaciones –no-imaginadas poco tiempo atrás–, el físico médico es quien puede comprender sus principios y operación, diseñar el uso, vigilar el desempeño clínico, y asegurar integralmente la calidad y seguridad.

Debido a que la educación del físico médico incluye cursos avanzados de protección radiológica, en muchos servicios clínicos es un físico médico quien ejerce como encargado de Protección Radiológica, responsable de determinar, registrar, analizar y evaluar la dosis recibida por el personal ocupacionalmente expuesto –entre muchas otras funciones. Aunque muchas veces el hospital contrata al físico médico para cumplir con un requisito regulatorio en cuanto a protección radiológica, no debe pensarse que éste es su ámbito natural de acción; peor aún, la alta carga de trabajo en protección radiológica podría comprometer su propio desempeño como físico médico. El recuadro 1 “Responsabilidades del físico médico en un servicio clínico” incluye una lista de habilidades y responsabilidades en estas tres sub-áreas de la física médica.

### La formación: educación y entrenamiento clínico

Dada la complejidad de la física involucrada en la actividad profesional, la enorme responsabilidad

Recuadro 1

### RESPONSABILIDADES DEL FÍSICO MÉDICO EN UN SERVICIO CLÍNICO

(**RT** INDICA SERVICIO DE RADIOTERAPIA, **DI** DIAGNÓSTICO POR IMÁGENES, **PR** PROTECCIÓN RADIOLÓGICA)

- **Dosimetría física:** Responsable de la calibración de las unidades de tratamiento y verificación de la actividad de las fuentes radiactivas, responsable de los datos necesarios para el uso clínico de las unidades, y responsable de garantizar que los datos de todos los haces y fuentes han sido introducidos en el sistema de planificación del tratamiento (RT); caracteriza la radiación emitida y determinación de los radiofármacos antes de ser aplicados, evalúa los tratamientos de adquisición de imágenes y detección de la radiación antes de ser usados clínicamente, participa en el diseño de protocolos de adquisición y procesamiento de imágenes, y es responsable de la verificación periódica de la dosis administrada a los pacientes con cada equipo (DI).
- **Dosimetría clínica:** Responsable del establecimiento de los procedimientos de cálculo de dosis y la verificación de su exactitud (RT y DI); supervisa (o realiza) los cálculos y mediciones necesarios para determinar dosis absorbidas en los órganos de los pacientes (RT y DI).
- **Especificaciones técnicas de equipo e instalaciones:** Participa en la selección e introducción de nuevas tecnologías (RT, DI); en la definición de las especificaciones técnicas para la compra de equipos de tratamiento (RT), de adquisición y manejo de imágenes (DI) y de vigilancia radiológica ambiental y contaminación (PR). Participa en el diseño de las instalaciones y se asegura que todos los requisitos de seguridad (RT, DI) y de protección radiológica (PR) se cumplan.
- **Aceptación y mantenimiento de equipos:** Responsable de la aceptación de los equipos, certifica que éstos funcionan de acuerdo con las especificaciones técnicas de compra, supervisa el mantenimiento técnico de los equipos (RT, DI y PR).
- **Garantía de calidad:** Responsable de la elaboración y ejecución de los aspectos físicos del programa de garantía de calidad del servicio, cumple un papel de liderazgo en el comité que asegura la buena práctica de los procedimientos, la protección radiológica del paciente, el control de la calidad y el cumplimiento de las reglamentaciones (RT, DI). Asesora a la institución en materias de protección radiológica (PR).
- **Docencia e investigación:** Participa en programas de formación de médicos especialistas en radioterapia, medicina nuclear o radiología, de físicos médicos, técnicos y enfermeras en temas de física médica y protección radiológica. Apoya la investigación clínica en sus aspectos técnicos, evalúa nuevas tecnologías e investiga los procedimientos requeridos para su adopción (RT y DI).

que recae en el físico médico, y en pleno conocimiento de los accidentes que han ocurrido en el uso de radiación ionizante en radioterapia y diagnóstico por imágenes (ver referencias al final), varias organizaciones internacionales (la IOMP (International Organization of Medical Physics), el OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) y la EFOMP (European Federation of Organizations for Medical Physics), entre otras) han emitido recomendaciones concretas sobre el proceso de educación y entrenamiento clínico requeridos para la formación de este profesional. Todas coinciden en la necesidad de una formación en profundidad, y la Fig. 1 ilustra el proceso.

De acuerdo con la figura, educar y entrenar a un físico médico es una obra en 3 actos. El Primer Acto, que podemos llamar formativo, es el estudio de física y matemáticas avanzadas en una licenciatura en física o denominación similar. En este acto, el físico adquiere su nombre. El Segundo Acto es la especialización. Se aprenden, y comprenden, las aplicaciones de la física en las áreas médicas de diagnóstico y terapia que usan radiaciones ionizantes (radioterapia, diagnóstico por imágenes de rayos X y de radionúclidos) y no-ionizantes (ultrasonido, resonancia magnética, usos de la luz, y tantos otros). También se aprenden, a nivel avanzado, los principios y práctica de la

protección radiológica en instalaciones médicas. En este acto, el físico adquiere el adjetivo “médico”. El Tercer Acto es el entrenamiento clínico, formal, supervisado y con reconocimiento oficial. En este acto se adquieren las habilidades para poder ejercer la profesión independientemente y el físico médico se puede considerar clínicamente “cualificado”. La duración total de esta formación depende de la estructura de grados universitarios de cada país, pero típicamente suma unos 8-9 años (4-5 años de licenciatura, 2 de maestría y 2 de residencia clínica). Esto es similar al tiempo necesario para formar un médico especialista.

**México: A 15 años de la creación de las maestrías en física médica**

El desarrollo de la física médica en México se ha fortalecido desde la creación –hace poco más de 15 años– de las primeras dos, y hasta ahora únicas, maestrías. La UNAM en el DF y la Universidad Autónoma del Estado de México, UAEMex, en Toluca han graduado casi 130 Maestros en Ciencias (Física Médica) (89 UNAM y 41 UAEMex). Unos 70 físicos médicos con grado de maestría tra-

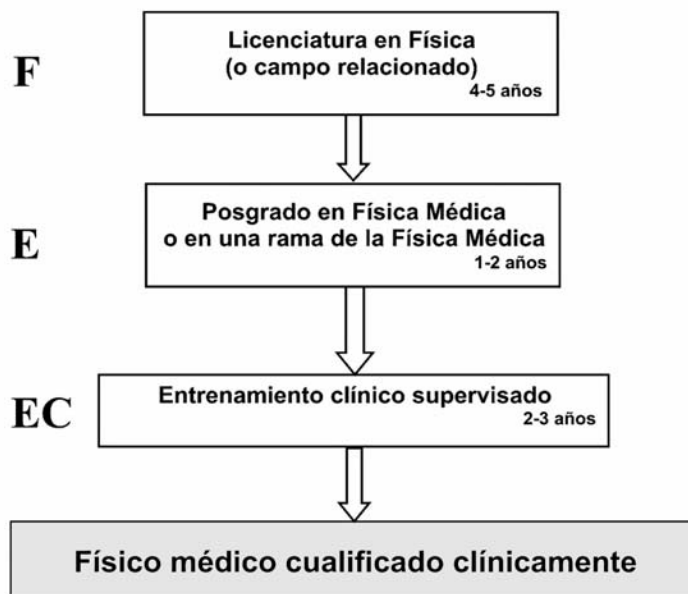


Figura 1. Posible vía de formación (F), especialización (E), y entrenamiento clínico (EC) en la educación de un físico médico. Figura adaptada de la Ref. 2.

bajan en hospitales y clínicas, y constituyen la mitad de la fuerza laboral de físicos médicos del país (se estima que hay 140 físicos médicos, de los cuales 110 trabajan en los 85 servicios de radioterapia que existen a la fecha). El programa de la UNAM forma parte del Padrón Nacional de Posgrado de Calidad de CONACyT en nivel de Competencia Internacional y sus alumnos regulares cuentan con beca durante 2 años. Los alumnos de la UAEMex obtienen apoyos de la propia universidad o del gobierno del Estado de México. El recuadro 2 "Ingreso, egreso y seguimiento laboral de la Maestría en Física Médica de la UNAM" entrega información estadística relativa al programa de la UNAM.

La existencia de estos 2 programas, cuyos graduados han ocupado la mayoría de nuevas plazas de físico médico abiertas en los servicios de salud en los años recientes, está cambiando la práctica profesional de la física médica. Además de los programas, en el año 2000 se creó la División de Física Médica de la Sociedad Mexicana de Física SMF que, a través del Congreso Nacional de Física, promueve el área entre los socios de la SMF, sobre todo entre los estudiantes. La relación entre programas de posgrado e investigación ha resultado también en la creación de grupos de investigación en técnicas de dosimetría y microdosimetría, procesamiento de imágenes médicas y biológicas, desarrollo de vectores de fármacos y radionúclidos, resonancia magnética funcional, aplicaciones ópticas en oftalmología, etc.

Con referencia al esquema formativo de la Fig. 1, en México existen varias licenciaturas en física, dos maestrías en física médica, pero hasta el momento no se han organizado residencias clínicas para físicos médicos. La práctica profesional se logra "en el trabajo", lo que dista de ser lo óptimo. En los Estados Unidos de América, la comunidad está a las puertas de una "revolución profesional" ya que el entrenamiento clínico formal será un requisito para poder aspirar a la certificación individual que permita ejercer la profesión (a partir de 2014, el entrenamiento "en el trabajo" no será aceptado como válido). ¿Por qué no hay en México programas de entrenamiento similares a las de los

médicos que preparan su especialidad? En primer lugar, deberían ocurrir en centros de salud asociados a instituciones educativas que las avalen, y en ellas aún no se comprende la necesidad de este entrenamiento avanzado. En segundo lugar, es una iniciativa que requiere financiamiento, ya que habría que becar a los residentes y contratar a más físicos médicos que compensen el tiempo que se invertirá en la supervisión. Como remedio ante esta carencia, ambas maestrías mexicanas en física médica incluyen un semestre de Residencia Hospitalaria dentro del programa académico.

### ¿Licenciatura o maestría en física médica?

Con base en la experiencia adquirida, creemos que cada etapa en el esquema de la Figura 1 está justificada y es indispensable. La licenciatura otorga los conocimientos básicos de la física, incluyendo un conocimiento profundo de las bases de la "física moderna" (es decir, la física cuántica). La carrera de física también brinda el dominio de métodos matemáticos y numéricos; la capacidad de realizar cálculos y experimentos para resolver problemas reales y la habilidad para construir modelos de un proceso. En esta etapa se comprenden la naturaleza de los métodos de investigación y la relación entre experimento y teoría. Además, se aprende a trabajar con autonomía y apego a principios éticos. El posgrado enseña a comprender la aplicación de la física en las técnicas de la medicina moderna y entrega bases sólidas para comprender las tecnologías y procedimientos que seguirán renovándose a gran velocidad. Finalmente, el entrenamiento entrega la experiencia clínica.

Después de 15 años, las maestrías en física médica en México han demostrado su sustentabilidad. Quienes consideran necesario crear licenciaturas en física médica para formar "muchos más" físicos médicos (aduciendo una supuesta necesidad inmediata de cientos de nuevos especialistas en los hospitales del país, necesidad que no vemos expresada en una oferta real de plazas) no siempre están conscientes de las altas exigencias del perfil ni de las responsabilidades que esperan en la clínica. A veces, el encanto que despierta el término "física médica" entre los jóvenes que están por tomar una decisión vocacional lleva a la tentación de usar el nombre para una carrera cuyo concepto poco tiene que ver con el perfil profesional del físico médico.

Recuadro 2

**INGRESO, EGRESO Y SEGUIMIENTO LABORAL DE LA MAESTRÍA EN FÍSICA MÉDICA DE LA UNAM**

- La Maestría en Ciencias (Física Médica) de la UNAM recibió a sus primeros alumnos en Agosto de 1997. Es uno de los 3 planes de estudio del Posgrado en Ciencias Físicas, junto a los tradicionales Maestría y Doctorado en Física.
- En estos 15 años han ingresado 123 estudiantes, se han graduado 89, 19 estudiantes cursan estudios regulares y otros 7 están terminando su tesis. Las bajas han sido 8.
- Los estudiantes de la maestría son 46% mujeres y 80% físicos (el resto, ingenieros físicos). 40% estudió en la Facultad de Ciencias de la UNAM, el 7% en la UAM, y porcentajes menores en otras universidades nacionales y latinoamericanas. Entre las universidades privadas, 5 estudiantes provienen del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y 3 de la Universidad Iberoamericana. El 5% son extranjeros.
- 25 académicos son tutores activos del programa y 15 médicos clínicos forman parte de los comités tutorales de los estudiantes. 22 tutores han dirigido o dirigen las tesis que requiere el plan de estudios. En un año típico, 20 profesores imparten clases y 6 de ellos son médicos.
- Durante la Residencia Hospitalaria los estudiantes rotan por 8 servicios médicos que incluyen 3 institutos nacionales de salud, cumpliendo 320 horas de entrenamiento, supervisados mayoritariamente por físicos médicos con amplia experiencia clínica.
- Las áreas más populares para las tesis son: rayos X y mamografía (24%), radioterapia (21%), resonancia magnética (14%) y medicina nuclear (9%).
- En las últimas 5 generaciones el tiempo promedio de graduación ha sido 2.7 años.
- El 64% de los graduados (56) se han incorporado al sector productivo, 44 laboran como físicos médicos en hospitales y clínicas y 12 ejercen una actividad relacionada (programas de la Secretaría de Salud, empresas que comercializan equipo médico, protección radiológica fuera de la clínica, etc.)
- El 14% de los graduados estudia un doctorado en física médica o tema afín en México o el extranjero. Los primeros 4 graduados ya doctorados y posdoctorados en el extranjero trabajan como investigadores (en física médica) en universidades del país.
- Algunos de los físicos médicos clínicos estudian simultáneamente un doctorado afín.
- Los físicos médicos graduados en la UNAM constituyen el 30% de la fuerza laboral en hospitales del país.
- Más información sobre los graduados, en la página web del programa [www.fisica.unam.mx/fismed](http://www.fisica.unam.mx/fismed)

Si se desea ampliar las opciones más allá de la licenciatura en física y así fortalecer la práctica profesional en temas relacionados con física en salud o medicina, se pueden concebir carreras que, además del indispensable contenido de física y matemáticas, incluyan elementos de biología y medicina que satisfagan el interés pluridisciplinario de los interesados. Por sus contenidos, estas carreras estarían dirigidas a egresados del "Área 1" de la educación media superior, es decir estudiantes con intereses y conocimientos de física y matemáticas, y pueden ser licenciaturas en Ciencias Radiológicas o en Física de Radiaciones (para perfiles de egreso profesionalizantes) o en Física Biológica o Física Biomédica (para perfiles con una componente académica). El perfil profesional del egresado de estas carreras puede incluir la vigilancia radiológica y dosimetría, la relación con equipos de imagen o tratamiento médico, el apoyo en la ejecución de procedimientos de control de calidad y supervisión de procesos de garantía de calidad, el uso industrial de fuentes radiactivas, etc. Si el contenido de física es suficiente, los egresados de estas carreras podrían ingresar a un posgrado en física médica.

Para no propiciar errores en el momento de la contratación profesional, en que el nombre de un grado se tome como sustituto del requerido análisis de las competencias del candidato, debe evitarse el nombre Física Médica para un programa de nivel licenciatura. El nombre Física Médica debe reservarse para programas de posgrado, idealmente Maestrías en Ciencias, donde ingresen alumnos que ya cuentan con una formación sólida en física. Esto es similar a la formación de los especialistas médicos. Así como un médico neurólogo primero debe ser médico y luego especializarse en neurología, pensamos que un físico médico primero tiene que ser físico y luego especializarse en física médica.

Un elemento adicional a considerar es la esperada relación de cooperación entre el físico médico clínico y el especialista médico (médico radiólogo, nuclear o radio-oncólogo). Esta relación equilibrada requiere que ambos profesionales, cada quien especialista en su propia área, interactúen con pleno

reconocimiento de las habilidades que los hacen diferentes y que los complementan. Esto necesariamente requiere que el físico cuente con un grado superior a la licenciatura; de no tenerlo, su trabajo en la clínica será puramente técnico.

El ingreso anual del programa de la UNAM, aproximadamente 10 estudiantes cada año, es similar al valor típico en los programas estadounidenses de maestría en física médica. La dificultad práctica para aceptar muchos más alumnos proviene de las características propias de los programas, que requieren de un cuerpo académico multidisciplinario especializado en un área relativamente joven para el país y de la realización de actividades prácticas en centros de salud (externos a la institución universitaria). El gran interés que han despertado los programas existentes debería estimular la creación en México de nuevas maestrías en física médica. Éstas, seguramente contarían con un grupo estudiantil entusiasta y así se fortalecerían áreas de investigación multidisciplinaria de gran atractivo intelectual, se reforzaría una salida profesional que ha demostrado ser exitosa para los físicos de México, y se estaría colaborando en mejorar la calidad de los servicios de salud del país. Las maestrías deben sustentarse en cuerpos académicos constituidos por doctores en física que conozcan las aplicaciones en medicina o biología. Ya que la mayoría de los investigadores actuales en este campo estudiaron en el extranjero, la creación en México de un programa doctoral al más alto nivel constituiría un apoyo importante para la investigación en el área.

### Agradecimientos

Agradezco a los colegas, dentro y fuera de México, que hicieron comentarios y sugerencias al manuscrito; a la M. en C. Eleni Mitsoura por la información estadística de la UAEMex; y al Lic. David Espejo y M. en C. Maricarmen Franco por su análisis de los desafíos que enfrenta la profesión de físico médico en México.

### BIBLIOGRAFÍA

#### Recomendaciones internacionales sobre formación de físicos médicos

1. International Organization for Medical Physics, IOMP, "IOMP Policy Statements No 1 and No 2" (Beijing, 2012). [http://www.iomp.org/sites/default/files/iomp\\_policy\\_state-](http://www.iomp.org/sites/default/files/iomp_policy_state-)

ment\_no\_1\_0.pdf. [http://www.iomp.org/sites/default/files/iomp\\_policy\\_statement\\_no\\_2\\_0.pdf](http://www.iomp.org/sites/default/files/iomp_policy_statement_no_2_0.pdf)

2. Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA, "El físico médico: Criterio y recomendaciones para su formación académica, entrenamiento clínico y certificación en América Latina", IAEA Human Health Reports No.1 (Viena, 2010) [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1424\\_S\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1424_S_web.pdf)
3. European Federation of Organizations for Medical Physics, EFOMP, "The roles, responsibilities and status of the clinical medical physicists", Policy Statement Nr.2 (1984). <http://www.efomp.org/images/docs/policy/policy2.html>
4. American Association of Physicists in Medicine, AAPM, "Scope of practice of clinical medical physics", PP 17-B, AAPM (2011). <http://www.aapm.org/org/policies/details.asp?id=317&type=PP>
5. AAPM Report 197, "Academic Program Recommendations for Graduate Degrees in Medical Physics", AAPM (2009). [http://www.aapm.org/pubs/reports/RPT\\_197.pdf](http://www.aapm.org/pubs/reports/RPT_197.pdf)
6. Stefanoyiannis et al., "The education and training of clinical medical physicists in 25 European, 2 North American and 2 Australasian countries: Similarities and differences." *Physica Medica* 28 (2012) 183-190

### Reportes de accidentes con radiación en la práctica médica

7. "Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in San José, Costa Rica", IAEA (Vienna, 1998) <http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/4727/Accidental-Overexposure-of-Radiotherapy-Patients-in-San-Jos-Costa-Rica>
8. "The Radiological Accident in Goiânia", IAEA (Vienna, 1988) <http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/3684/The-Radiological-Accident-in-Goinia>
9. "Investigation of an Accidental Exposure of Radiotherapy Patients in Panama", IAEA (Vienna, 2001) <http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/6391/Investigation-of-an-Accidental-Exposure-of-Radiotherapy-Patients-in-Panama>
10. Serie "Radiation Boom", publicada en el New York Times, W Bogdanich y cols (2010, 2011) [http://topics.nytimes.com/top/news/us/series/radiation\\_boom/index.html](http://topics.nytimes.com/top/news/us/series/radiation_boom/index.html)

### Otros enlaces de interés

11. Medicalphysics web <http://medicalphysicsweb.org/>
12. Maestría en Ciencias (Física Médica) UNAM. <http://www.fisica.unam.mx/fismed>