

Física Médica

Benito **de Celis Alonso**
Mario Iván **Martínez Hernández**
Eduardo **Moreno Barbosa**

El objetivo de este trabajo es discutir qué es y qué hace un físico médico (FM). En general se define a un FM como un profesional que usa su conocimiento científico para coadyuvar en el tratamiento, prevención y diagnóstico de todo tipo de enfermedades. Es por esto que se suele encontrar a un FM trabajando en un hospital diseñando tratamientos de radioterapia o vigilando que los equipos de diagnóstico funcionen de forma adecuada. Sin embargo, también se puede encontrar a un FM en universidades y empresas desarrollando tecnologías de diagnóstico y tratamiento, así como contribuyendo a la investigación básica en campos como las neurociencias, fisiología, radiología, farmacología, etcétera.

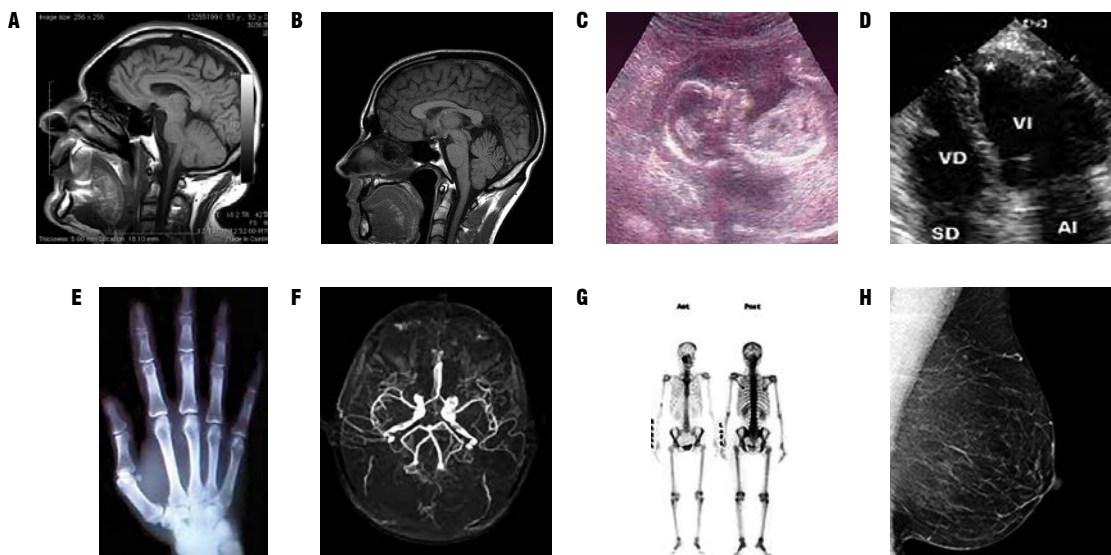


Figura 1. Imágenes obtenidas con las distintas técnicas de diagnóstico. **A.** Imagen del cerebro obtenida con tomografía computarizada. **B.** Imagen del cerebro obtenida con resonancia magnética. **C.** Ultrasonido de un feto en el vientre materno. **D.** Ultrasonido usado para la medida de los volúmenes de las aurículas y ventrículos del corazón. **E.** Rayos X de una mano. **F.** Angiografía (imagen de venas y arterias) obtenida con resonancia magnética. **G.** Escáner de huesos empleando medicina nuclear para la detección de cáncer. **H.** Mamografía de una mama sana. Imagen **1A:** Obtenida de <http://www.diagnosweb.com>. **1C-D** y **H:** Introduction to Medical Imaging. N. Barrie & A. Webb. Cambridge Texts in Biomedical Engineering 2008. **1E:** Foot & Ankle Radiology. R. A. Christman. Churchill Livingstone. 2003.

Este es un campo altamente interdisciplinario en el que participan físicos, médicos, ingenieros, programadores, biólogos, químicos, farmacéuticos, etcétera. Otra característica de la Física Médica es que se trata de un área de ciencia aplicada. Las actividades de un FM hospitalario permiten mejorar la calidad del servicio a los pacientes construyendo equipos adecuados, mejorando tratamientos y asegurándose que funcionan de forma apropiada. Por lo tanto, es una profesión en la que sus miembros deben estar sujetos a una formación exhaustiva de controles de calidad y una vigilancia parecida o igual que la de los médicos.

Es por lo expuesto aquí, que los autores de este trabajo quisiéramos crear conciencia de la importancia de esta profesión, de su situación en México y de las ventajas que profesionales bien preparados en esta disciplina podrían aportar a la sociedad.

FUNCIONES

Las funciones de un FM son diversas. Sin embargo, se pueden dividir en cuatro grandes grupos: diagnóstico, tratamiento (mayormente radioterapia), protección radiológica y otras aplicaciones.

DIAGNÓSTICO

Rayos X (RX) y otras técnicas ionizantes. Con el descubrimiento de los rayos X nace el FM. En esta disciplina se usan radiaciones ionizantes (con energía suficiente para arrancar electrones de un tejido al atravesarlo). Estas radiaciones atraviesan fácilmente tejidos blandos (piel, músculo, grasa, sangre, etcétera) pero son mucho más absorbidos por los duros (hueso). Por eso en las placas radiográficas se ven los huesos blancos mientras que lo demás se ve oscuro. Las radiaciones ionizantes pueden dividir las moléculas de agua de los tejidos en otras moléculas denominadas radicales libres. Estos pueden llegar a dañar o destruir las moléculas de DNA y por tanto inducir cáncer. Además de los rayos X convencionales se debe incluir a la fluoroscopia (rayos X fluyendo de forma constante cuyas imágenes son digitalizadas para verse como un video en tiempo real), la tomografía computarizada (imágenes de rayos X tomadas desde todos los ángulos posibles y combinadas para tener una imagen anatómica) y la mamografía (imágenes específicas para la mama que permiten diagnosticar y prevenir el cáncer en este tejido).

Las funciones del FM en este apartado son las de vigilar las dosis que reciben los pacientes y el personal

ocupacionalmente expuesto así como, la calidad de las imágenes y el funcionamiento de los aparatos.

Resonancia Magnética. La resonancia magnética es una técnica de diagnóstico que usa las propiedades magnéticas del agua, así como ondas de radio, para tomar imágenes detalladas de los tejidos blandos del cuerpo. Las funciones del FM en este campo son monitorear el correcto funcionamiento del aparato de resonancia magnética y diseñar nuevas secuencias de pulsos magnéticos que permitan crear aplicaciones especiales. Por ejemplo, una secuencia que tome imágenes solo de la grasa corporal (Abhinav *et al.*, 2014, Liney & Moerland, 2014).

Ultrasonido. Esta es una tecnología en la que un aparato produce sonido a altas frecuencias en el tejido. Tras cierto tiempo mide los ecos producidos por el rebote del sonido en las estructuras del cuerpo. Es una tecnología barata, da imágenes en tiempo real y casi no tiene contraindicaciones. Es el equipo básico de un ginecólogo y se usa también en medicina deportiva y cardiología. Los FM están detrás de su creación y del desarrollo de mejoras en ella, así como su mantenimiento. (Wells *et al.*, 2011) (Azhari, 2012).

Medicina Nuclear. Las aplicaciones para diagnóstico de la medicina nuclear usan una serie de técnicas en las que se introducen productos radioactivos en el cuerpo. Estos productos se concentrarán en los tejidos que se quiere estudiar y, mediante medidas de la radiación emitida, se puede determinar por su funcionamiento. Hay una amplia gama de radiofármacos con distintas aplicaciones, pero su principal aplicación es en el diagnóstico del cáncer. Las tres técnicas principales de detección son la cámara gama, la tomografía por emisión de fotón único (SPECT) y la tomografía por emisión de positrones (PET).

Medidas fisiológicas. Ejemplos de estas medidas son la electroencefalografía (medida de los potenciales eléctricos en el cerebro), el electrocardiograma (medición de los potenciales eléctricos del corazón), la endoscopia (obtención de imágenes de las cavidades del cuerpo por medio de micro-cámaras), la pulsioximetría (medida de la oxigenación de un tejido), la electromiografía (medida de los potenciales eléctricos de músculos), etcétera. El FM debe cuidar que todos los equipos funcionen adecuadamente y debe desarrollar nuevas aplicaciones.

TRATAMIENTO

Radioterapia. La radioterapia es el tratamiento del cáncer usando radiaciones ionizantes. Aunque hay muchas subdisciplinas (braquiterapia, cuchillo gamma, terapia de protones, etcétera), en la versión más común se usan aceleradores lineales. Estos disparan radiación desde fuera del cuerpo contra tumores. Los disparos realizados desde distintos ángulos convergen siempre en el tumor reduciéndolo. Al mismo tiempo e idealmente el daño a los tejidos sanos circundantes es mínimo.

Para los FM hospitalarios y debido a la prevalencia de cáncer en la sociedad, la radioterapia supone un 80% de la carga de trabajo. El FM debe coadyuvar a desarrollar y modelar la forma en la que se va a radiar al paciente. Se debe evitar órganos sensibles y calcular que el daño a los tejidos sanos sea mínimo. Una instalación de aceleradores lineales a pleno rendimiento requiere al menos de dos FM (norma mexicana, NOM-002-SSA3-2007).

Otras técnicas de tratamiento. Aunque la radioterapia es la principal técnica en la Física Médica, existen otras técnicas posibles entre las que se puede incluir el uso de los ultrasonidos para destruir cálculos en el cuerpo, el desarrollo de equipos de desfibrilación para reaccionar ante ataques cardíacos, el uso de radiaciones superficiales para tratar enfermedades de la piel, etcétera.

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Los FM deben vigilar que el funcionamiento de los equipos sea el correcto. En el caso de la radioterapia hay que comprobar regularmente que los haces de rayos tengan la forma, energía y penetración adecuada. Esto se consigue mediante el uso de maniqués u objetos con forma humana que, además, están compuestos por materiales con propiedades radiológicas equivalentes a las de los tejidos humanos.

El FM debe controlar que la protección radiológica de las instalaciones sea la adecuada y cumpla la normativa. Finalmente, es el encargado de monitorear la dosimetría de pacientes y personal. Es su obligación que no se rebasen los límites fijados por la legislación



Figura 2. Imágenes de tratamientos de radioterapia. A. Acelerador lineal disparando a un paciente. **B.** Ejemplo de pantalla donde un FM planea los ángulos, energías y tiempos con los que se radiará el cáncer de un paciente. **C.** Aparato LINAC en posición de disparo aproximadamente a 30 grados de la vertical. Imagen 2A de <http://es.house.wikia.com/wiki/Radioterapia>. Imagen 2B de <http://grupo6modulo2.wordpress.com/> y la imagen 2C de www.upmc.com.

nacional (máximo anual de 50 mSv para el personal con un promedio sobre 5 años de 20 mSv. El mSv es una unidad que indica la dosis de radiación absorbida por los tejidos corregida por los efectos biológicos inducidos). Además, los FM deben vigilar que la radiación suministrada a un paciente sea lo más baja posible. Quiere esto decir que los exámenes médicos con rayos X o medicina nuclear no se deben hacer de forma injustificada. De igual manera, se debe limitar la tasa de repetición de exámenes y buscar alternativas al uso de radiaciones ionizantes.

OTRAS FUNCIONES DEL FM

Además de las funciones mencionadas, un FM puede aportar sus conocimientos en otros ámbitos, incluyendo la formación de otros físicos médicos a nivel universitario de pre y postgrado. También puede incorporarse a compañías tecnológicas relacionadas con el desarrollo de equipos médicos. Este es un trabajo en que se contrata todos los años a centenares de FM (IoP, 2012). Muchos FM se han incorporado también a compañías de software, puesto que el tratamiento de imágenes médicas es fundamental en el diagnóstico de enfermedades. También son importantes en el desarrollo de bases de datos. Una muestra de la relevancia de la investigación en este campo son los premios Nobel en medicina entregados a Godfrey N. Hounsfield y Alan Cormack en 1979 por el desarrollo de la tomografía computarizada, y a Peter Mansfield en 2003 por el desarrollo de la resonancia magnética.

SITUACIÓN DE LA FÍSICA MÉDICA EN OTROS PAÍSES

En esta sección se analiza la especialidad de Física Médica relacionada con la clínica, sin considerar otras posibilidades que pueda tener en relación con otras disciplinas. Presentaremos el sistema de formación y actualización de estos especialistas en tres países: Reino Unido, España y México. La elección de estos países corresponde a tres sistemas con niveles completamente distintos de organización.

Reino Unido. El puesto de FM en el Reino Unido está regulado en su sistema público de salud (NHS National Health System). El trabajo de un FM está regulado en todo el país a través de la acción del IPEM (Institute of Physics and Engineering in Medicine, <http://www.ipem.ac.uk/>). Esta es una institución pública que es independiente de otros organismos médicos y está dirigida exclusivamente por FM. Funciona como un colegio profesional. Rige la formación de FM, concede los certificados de habilitación para este trabajo y fija los estándares de formación. Además, es la institución que establece los estándares de calidad que las instalaciones médicas deben tener mediante la publicación de directivas y normas. El gobierno ha concedido a este instituto capacidades sancionadoras para que se cumplan sus criterios.

La formación de un FM en el Reino Unido comienza tras finalizar la carrera de física. Si su expediente es superior a una calificación de 2.1 (aproximadamente equivalente a un 8 en México) el estudiante se podrá inscribir en un programa de maestría en Física Médica. Este programa se impartirá en una universidad homologada por el IPEM. La maestría dura un año durante el

cual el estudiante recibe una base teórica de seis meses en todos los campos de la Física Médica. Después siguen tres meses intensivos en tres campos más específicos que sean de interés del estudiante. Tras esto se realiza una investigación de tres meses y se presenta el examen de posgrado. Con la maestría el estudiante debe buscar sus prácticas profesionales (remuneradas) en algún hospital del país. En estas prácticas, que duran dos años, el estudiante ahondará en su formación en los campos específicos que desarrolló durante sus estudios de posgrado (rota cada ocho meses por cada una de las especialidades). Este desarrollo se hará bajo supervisión de profesionales ya calificados, con experiencia y de una manera práctica. Tras estos tres años el IPEM otorgará una cédula o permiso de trabajo para el especialista Física Médica. Entonces, el trabajador debe buscar un trabajo en un hospital y especializarse en un solo campo de los tres en los que ha trabajado. Este proceso durará 5 años después de los cuales se le considerará FM especialista en ese campo, hecho que lo habilita para trabajar de forma independiente. A lo largo de la carrera, el IPEM vigila que el trabajo de sus FM se mantenga a buen nivel. Esto se hace mediante evaluaciones periódicas y exigiendo la realización de trabajo de investigación (obtención de doctorados).

España. En España, desde 1997, existe la especialidad médica de “radiofísico hospitalario”. La función de estos especialistas está mayormente centrada en la planificación de tratamientos por radioterapia y protección radiológica en general. Es solo en los últimos años que los FM españoles han comenzado a ocupar terreno en otros departamentos como diagnóstico y medidas de constantes fisiológicas. La actividad de los físicos médicos es regulada a nivel estatal por la legislación vigente. Además, existe una Sociedad Española de Física Médica (<http://www.sefm.es>) que realiza publicaciones en el campo. Esta sociedad no tiene los poderes ni la influencia que pueda tener el IPEM en el Reino Unido y sus tareas son más bien de tipo divulgativo y de referencia.

La formación de un FM en España comienza tras acabar cualquier tipo de carrera científica. El acceso al programa de formación (FIR, Físico Interno Residente) se realiza exclusivamente mediante examen de oposición. Una vez aprobado este examen el futuro FM debe incorporarse a un hospital con el programa FIR en el que

durante tres años (ya remunerados) se le formará en el campo de la radioterapia, medicina nuclear, radiodiagnóstico y protección radiológica. Tras este periodo, el físico hospitalario estará ya habilitado para buscar trabajo en cualquier hospital del país. Durante el desarrollo de su carrera el físico hospitalario español estará obligado por su institución a tomar cursos de actualización impartidos en universidades nacionales y extranjeras, así como a participar en congresos y reuniones científicas. En general, al haber en España pocos especialistas en este campo, el físico hospitalario suele encontrar trabajo con relativa facilidad. Esto se debe a que anualmente se suele convocar unos 30-40 puestos (antes de la crisis del 2008).

México. Si bien se ha hecho un esfuerzo en el último lustro para que se reconozca la figura laboral de FM en México, aún falta legislar el tema para que se regulen sus responsabilidades y derechos, tal como se sugiere en el documento elaborado por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, 2010) en 2010.

La formación de un FM en México comienza tras acabar los estudios universitarios en el área de física, física aplicada o áreas afines. El estudiante deberá solicitar y encontrar trabajo en un hospital como FM. En estas instalaciones y en el mejor de los casos (no hay ley que obligue) el aspirante deberá recibir cursos de formación interna, además de pasar un curso (obligatorio) para personal ocupacionalmente expuesto, avalado por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. Con estas certificaciones el especialista podrá comenzar a desarrollar sus funciones. El trabajador aprenderá de forma “artesanal” (boca a boca o leyendo lo que vaya encontrando) su profesión. Este sistema obviamente da lugar a grandes diferencias de preparación y también a deficiencias académicas graves. El problema reside en que el puesto de FM es un puesto ambicionado en hospitales, puesto que representa un salario que, en promedio, es superior a la media mexicana (al ser personal ocupacionalmente expuesto reciben mayor salario). Esto da lugar a que muchas de estas plazas sean otorgadas de forma nepotista a gente sin preparación.

En la actualidad y basándonos en la información existente de las distintas sociedades de FM, así como

datos de las principales maestrías del país, Villafuerte (Brandan, 2010) y <http://www.smf.mx/~dfm-smf/>, un 25% de los físicos médicos está inscrito en otros programas de postgrado o tiene un puesto académico dedicado a la investigación, mientras que el restante 75% se dedica a labores clínicas. De los clínicos, el 75% se dedica a radioterapia, 15% a radiología clínica, 5% a medicina nuclear y 5% a resonancia magnética.

Recientemente el gobierno ha decidido que se debe requerir que todos los hospitales tengan FM. Además, será un requisito que estos tengan una preparación mínima al nivel de maestría. Finalmente, el puesto de FM ha sido equiparado al de un médico especialista con mejoramiento de salario y reconocimiento profesional. En la BUAP, en la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas existe desde el año 2005 el Área Terminal de Física Médica a nivel licenciatura. También hay otras universidades que imparten asignaturas en esta área de interés como materias optativas, por ejemplo la Universidad Autónoma de Zacatecas, la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad de Guanajuato y la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. También existen al menos dos universidades que imparten maestrías en Física Médica (Universidad Autónoma del Estado de México y Universidad Nacional Autónoma de México). A esto hay que añadir un proyecto de posgrado en la región sur del país en colaboración con el Centro Mesoamericano de Física Teórica. Desafortunadamente solo existe un doctorado conjunto de Física Médica y Ciencias de la Salud (Universidad Autónoma del Estado de México), pero no específicamente uno en Física Médica como tal. Hay también institutos de investigación que no tienen áreas terminales en FM pero que realizan estudios o investigación en la misma, como el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Se han creado ya sociedades que pretenden aglutinar los profesionales especialistas y contribuir a desarrollar una legislación (División de Física Médica de la Sociedad Mexicana de Física [[http://www.smf.](http://www.smf.mx/~dfm-smf/)

[mx/~dfm-smf/](http://www.smf.mx/~dfm-smf/)] como la Sociedad de Física Médica de Nuevo León [<http://www.sofimednl.org/>]). También existe la Federación Mexicana de Organizaciones de Física Médica, FMOFM, que es “la voz” del país ante la IOMP (international Organization of Medical Physics). Todas estas universidades, asociaciones e institutos impactan actualmente en la formación académica del FM en México.

Inversiones como la reciente compra de 60 aceleradores lineales por parte del gobierno también invitan al optimismo (ver sección de compras del 2012 en www.imss.gob.mx). Es más: si los hospitales contratasen al número de especialistas que realmente necesitan se crearía un buen número de puestos de trabajo en este campo. Sin embargo, falta mucho para llegar a los niveles de organización y preparación de Estados Unidos o el Reino Unido. Las consecuencias de las fallas del sistema en esta disciplina científica conllevan, desgraciadamente, a pérdidas económicas, y van en detrimento de la calidad de vida de los pacientes y de la práctica médica en general.

R E F E R E N C I A S

- Abhinav K, Yeh FC, Pathak S, Friedlander RM & Fernandez-Miranda JC (2014). *Biochimica et biophysica acta*.
- Azhari H (2012). *Current pharmaceutical biotechnology* 13: 2104-2116.
- Brandan M (2010). *AIP Proceedings* 48: 5.
- IAEA (2010). *El físico médico: criterios y recomendaciones para su formación académica, entrenamiento clínico y certificación en América Latina*. IAEA Human Health Reports.
- IoP (2012). *Working in physics: The business of medical physics*. http://www.iop.org/careers/workinglife/articles/page_39039.html.
- Liney GP & Moerland MA (2014). *Seminars in radiation oncology* 24: 160-168.
- Wells PN, Liang HD & Young TP (2011). *Journal of medical engineering & technology* 35: 289-299.

Benito de Celis Alonso
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas
BUAP
Fundación para el Desarrollo Carlos Sigüenza

Mario Iván Martínez Hernández
Eduardo Moreno Barbosa
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas
BUAP