

Año 8, núm. 32,
marzo-abril de 2017



spinor

Dos facetas, información y divulgación
un solo objetivo, comunicar

Física
Médica



spinor

Dos facetas, información y divulgación
un solo objetivo, comunicar

Revista de la Vicerrectoría de Investigación
y Estudios de Posgrado

Dr. José Alfonso Esparza Ortiz
Rector

Dr. René Valdiviezo Sandoval
Secretario General

Dr. C. Ygnacio Martínez Laguna
Vicerrector de Investigación y Estudios de Posgrado

**Dra. Ma. Verónica del Rosario
Hernández Huesca**

Directora General de Estudios de Posgrado

Dr. José Ramón Eguibar Cuenca
Director General de Investigación

Dr. José Eduardo Espinosa Rosales
Director General de Divulgación Científica

Investigación y revisión:

David Chávez Huerta

Heccari Bello Martínez

Laura I. Álvarez González

Jessica López

Erick Munive

Dirección de la revista:

Dr. José Eduardo Espinosa Rosales

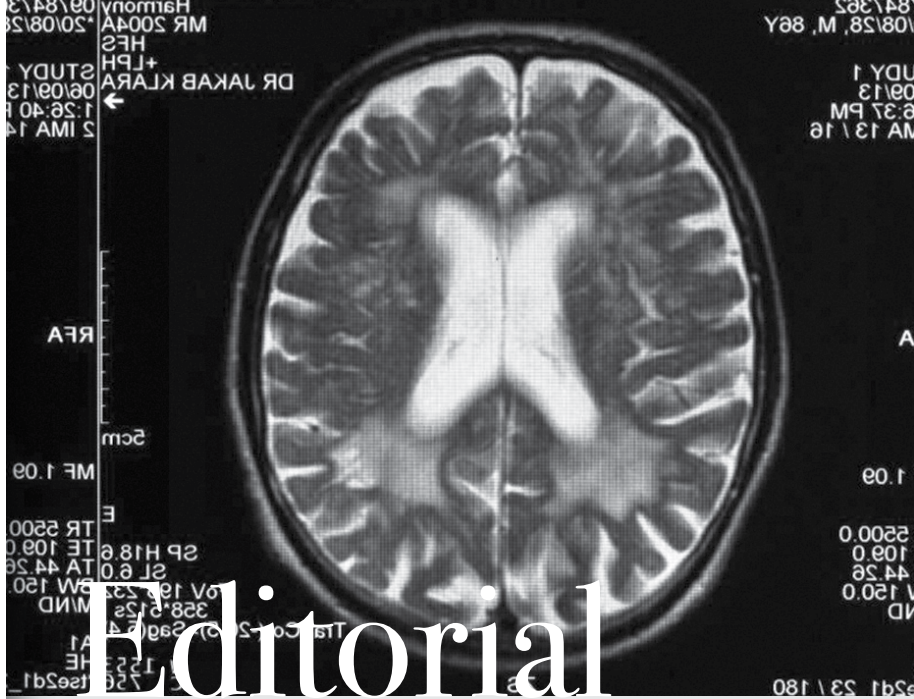
Consejo Editorial:

Dr. Jaime Cid Monjaraz, Dr. Miguel Ángel León Chávez,
Dra. Ma. de Lourdes Herrera Fera, Dr. Guillermo
Muñoz Zurita, Dr. Efraín Rubio Rosas, Dr. Oscar
Martínez Bravo, Dra. Olga Félix Beltrán

SPINOR, Año 8, No. 32, marzo-abril de 2017, es una publicación bimestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con domicilio en 4 sur 104, Col. Centro, C.P. 72000, Puebla Pue., y distribuida a través de la Dirección de Divulgación Científica de la VIEP, con domicilio en 4 sur 303, Col. Centro, C.P. 72000, Puebla Pue., Tel. (52) (222) 2295500 ext. 5729, www.viep.buap.mx, revistaspinor@gmail.com, Editor Responsable Dr. José Eduardo Espinosa Rosales, espinosa@cfcm.buap.mx. Reserva de Derechos al uso exclusivo 04-2012-082209441800-102. ISSN: (en trámite), ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Con Número de Certificado de Licitud de Título y Contenido: (16523), otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa en EL ERRANTE EDITOR S.A. DE C.V., Privada Emiliano Zapata No. 5947, Col. San Baltasar Campeche, Puebla, Pue. C.P. 72590, Tel. (222) 4047360, éste número se terminó de imprimir en marzo de 2017 con un tiraje de 5000 ejemplares. Distribución gratuita.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.



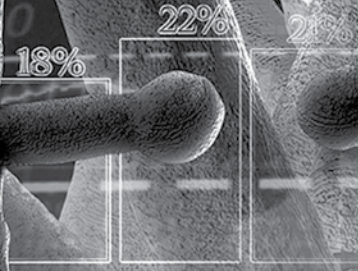
Editorial

En el transcurso de la última década se ha reconocido a nivel profesional la figura laboral del físico médico. La agencia internacional de energía atómica (IAEA) en el 2010 editó un documento en el cual da las recomendaciones relacionadas con su formación académica y laboral. El área de estudio profesional es la Física Médica, que aplica sus conceptos al área de la salud, generalmente se relaciona con las radiaciones ionizantes, ya sea para diagnóstico o en terapia de radiaciones. Asimismo, es una rama multidisciplinaria que conjuga conceptos, herramientas y técnicas de diversas disciplinas como son la ingeniería, biología, medicina, cómputo, matemáticas y física.

Al término de su preparación, el físico médico puede emplearse no solo en el área de la salud sino también en el área de la industria o la académica. La parte relacionada con la salud está directamente ligada a la revisión del material para diagnóstico y tratamiento, utilizando el instrumental adecuado para la manipulación de fuentes radiactivas o aceleradores lineales clínicos. En el ámbito académico su dedicación se debe primordialmente a la investigación y al desarrollo tecnológico (instrumentación científica), procesamiento y análisis de imágenes médicas (resonancia magnética nuclear, bioseñales, etcétera), simulación Monte Carlo, y física computacional entre otras.

En México, históricamente el físico médico clínico, y su función, ha estado limitado al ámbito de la radioterapia y dosimetría, considerando además aspectos de la protección radiológica. Si bien es cierto que en cualquier lugar del mundo de 70 a 80% de los físicos médicos se dedicarán a esto por su relevancia para la salud, también es cierto que sus aplicaciones han sido mucho más amplias, implicándose en áreas como diagnóstico (resonancia magnética, ultrasonidos, medicina nuclear, etcétera), óptica (láseres), medida de constantes fisiológicas, bioingeniería, análisis de imagen y datos, e incluso en administración hospitalaria. En este número se tocarán algunas de las ramas de aplicación y de la necesaria figura del físico médico para llevar a cabo tareas concretas en cada área.

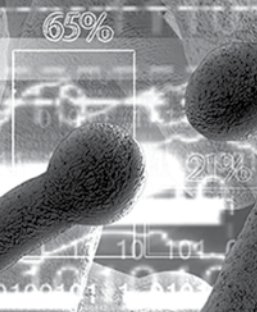
ASIA



EUROPE



OIL AND GAS



USA



SALES BY CATEGORY

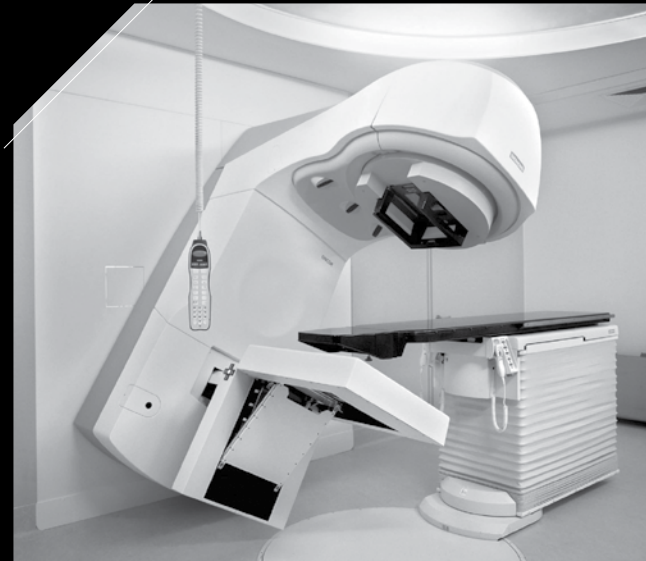


Física computacional en la medicina

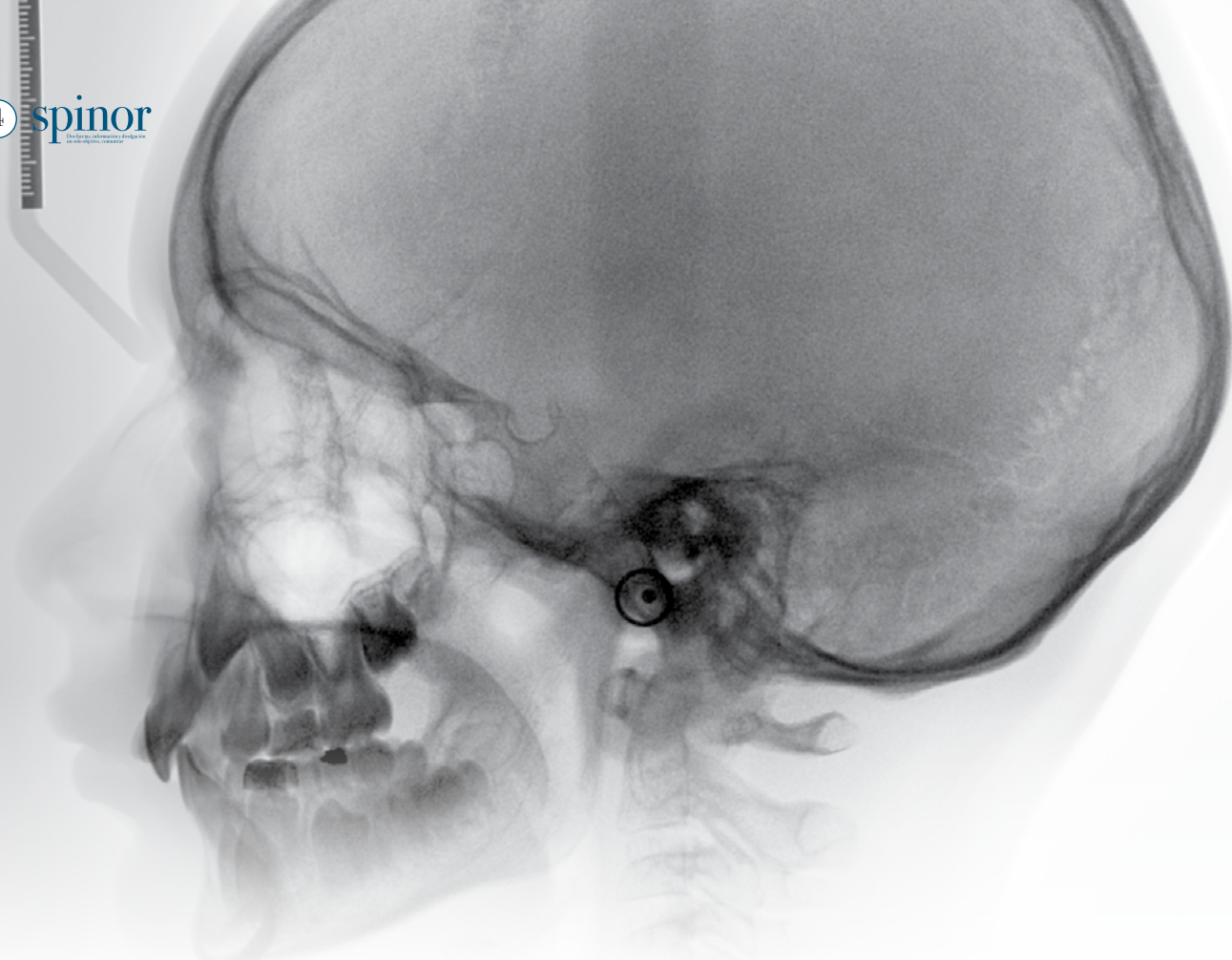
Dr. Javier M. Hernández López y Dr. Eduardo Moreno Barbosa
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, BUAP

La física computacional tiene como objetivo el estudio e implementación del análisis numérico, para resolver problemas en la física o física aplicada que tienen su sustento en modelos matemáticos. Aunque se encuentre la solución, estos pueden presentar complicaciones en las que no existan soluciones exactas o analíticas. Cuando se comienza con un trabajo de investigación, pronto nos damos cuenta de las dificultades ineludibles a la aplicación de las técnicas aprendidas con casos reales. En ese momento, en una gran mayoría de los casos, dependeremos de nuestras habilidades para el manejo de los métodos computacionales, con el fin de avanzar en la búsqueda de la verdadera cara de la naturaleza. En el caso de la física médica esto es aún más cierto, dadas las complejidades geométricas usuales en los casos bajo estudio, lo que dificulta la obtención de resultados analíticos.

La historia del uso de las computadoras, que se remonta a casi 50 años antes, fue desarrollada con el fin de analizar datos en la física médica y, principalmente, en el procesamiento de imágenes y la radioterapia.¹ Recientemente, la evolución de la tecnología de los chips, que están detrás de las computadoras, nos ha traído una nueva herramienta: la Unidad de Procesamiento Gráfico (GPU, Graphics Processing Unit, por sus siglas en inglés). Las GPU constituyen una plataforma competitiva para problemas de cómputo paralelo. Si bien las GPU surgieron como un medio para la aceleración del procesamiento de imágenes en las computadoras, sus aplicaciones a diversas áreas del cómputo han extendido su uso. Las GPU han pasado de microprocesadores especializados en la traducción de imágenes a procesadores multinúcleos, altamente paralelos programables, que pueden ser usados para cálculos generales.³



» El interés por este tipo de problemas es doble. Por un lado, tenemos la parte clínica; el poder contar con tratamientos basados en procesos portátiles que utilicen los mínimos recursos computacionales para el uso clínico y tiempos cortos de respuesta.



Por ejemplo, la tomografía es un método imagenológico que utiliza rayos X para crear imágenes transversales de un objeto. Este método es usado en medicina, arqueología, biología, geofísica, oceanografía, ciencia de materiales y otras ciencias. En la mayoría de los casos se basa en un procedimiento matemático llamado reconstrucción tomográfica. Las técnicas de reconstrucción de las imágenes involucran la proyección de datos provenientes de múltiples direcciones, y el envío de estos datos a partir de un algoritmo procesado por computadora. Existen muchos algoritmos de reconstrucción, la mayoría entran en una de dos categorías: proyección de retroceso filtrado (FBP) y reconstrucción iterativa (IR).

Estos procedimientos dan resultados inexactos: son fruto de un compromiso entre la exactitud y el cómputo de tiempo necesario. Mientras que FBP exige menos recursos del ordenador, los algoritmos del tipo IR producen menos puntos de medición (errores en la reconstrucción), a cambio de aumentar el uso de recursos durante el procesamiento. Por lo consiguiente, es necesario la creación y exploración de métodos alternativos de reconstrucción. Por ejemplo, la utilización de métodos estadísticos en conjunto con programación paralela, con el fin de reconstruir imágenes tomográficas.

» Todo lo anterior nos permite concluir que el área de aplicación de las computadoras en la física médica será un área de expansión y desarrollo en los años venideros. Un área abierta a una infinidad de posibilidades.

El interés por este tipo de problemas es doble. Por un lado, tenemos la parte clínica; el poder contar con tratamientos basados en procesos portátiles que utilicen los mínimos recursos computacionales para el uso clínico y tiempos cortos de respuesta. Por otra parte, la aceleración de los tiempos de análisis que se traducirá en un lapso menor para el uso clínico. Esto no impactará solamente en la gran cantidad de aceleradores clínicos instalados en instituciones públicas y privadas, sino también en el necesario impulso a la investigación médica que tanta falta le hace al país. Así como, en el desarrollo de unidades portátiles que puedan ser usadas en sitios donde no haya infraestructura médica. En la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas recientemente se creó el cuerpo académico de física médica, que tiene entre sus objetivos crear una infraestructura básica de servicio a futuro, y en donde es parte in-

dispensable el uso de herramientas computacionales, tanto para la investigación como para uso clínico en los problemas mencionados, y que se pretende expandir en un futuro próximo.

¿Por qué son caros estos procesos computacionales? Porque su solución tradicionalmente se da a través de las técnicas del álgebra lineal. El problema de forma matemática se puede formular como $Ax=y$, donde A es una matriz; x e y son vectores. Esta operación matemática, que a simple vista se observa sencilla, puede tener el inconveniente de que cuando A es grande, entonces la solución computacional puede ser lenta, o no encontrarse mediante los métodos tradicionales. Existen entonces dos salidas: por métodos estadísticos o por el método Monte Carlo (MC)², para la implementación del modelado de fotones y el transporte de electrones en medios heterogéneos, con los fines mencionados.

Sin embargo, el tiempo computacional es demasiado costoso para su uso en medios clínicos o para la obtención de resultados en tiempo real (léase minutos no días). Lo que es completamente necesario para el procesamiento de imágenes provenientes de sistemas de diagnóstico, con la finalidad de optimizar los algoritmos de identificación de posibles anomalías en el cuerpo bajo tratamiento/estudio. Esto a fin de poder realizar la combinación de sistemas de tratamiento y de diagnóstico a un paciente; hecho que a la larga puede salvar vidas y costos, que es donde entra en juego la aparición de los GPU. Tenemos un sistema de cómputo paralelo portátil, en donde podemos realizar

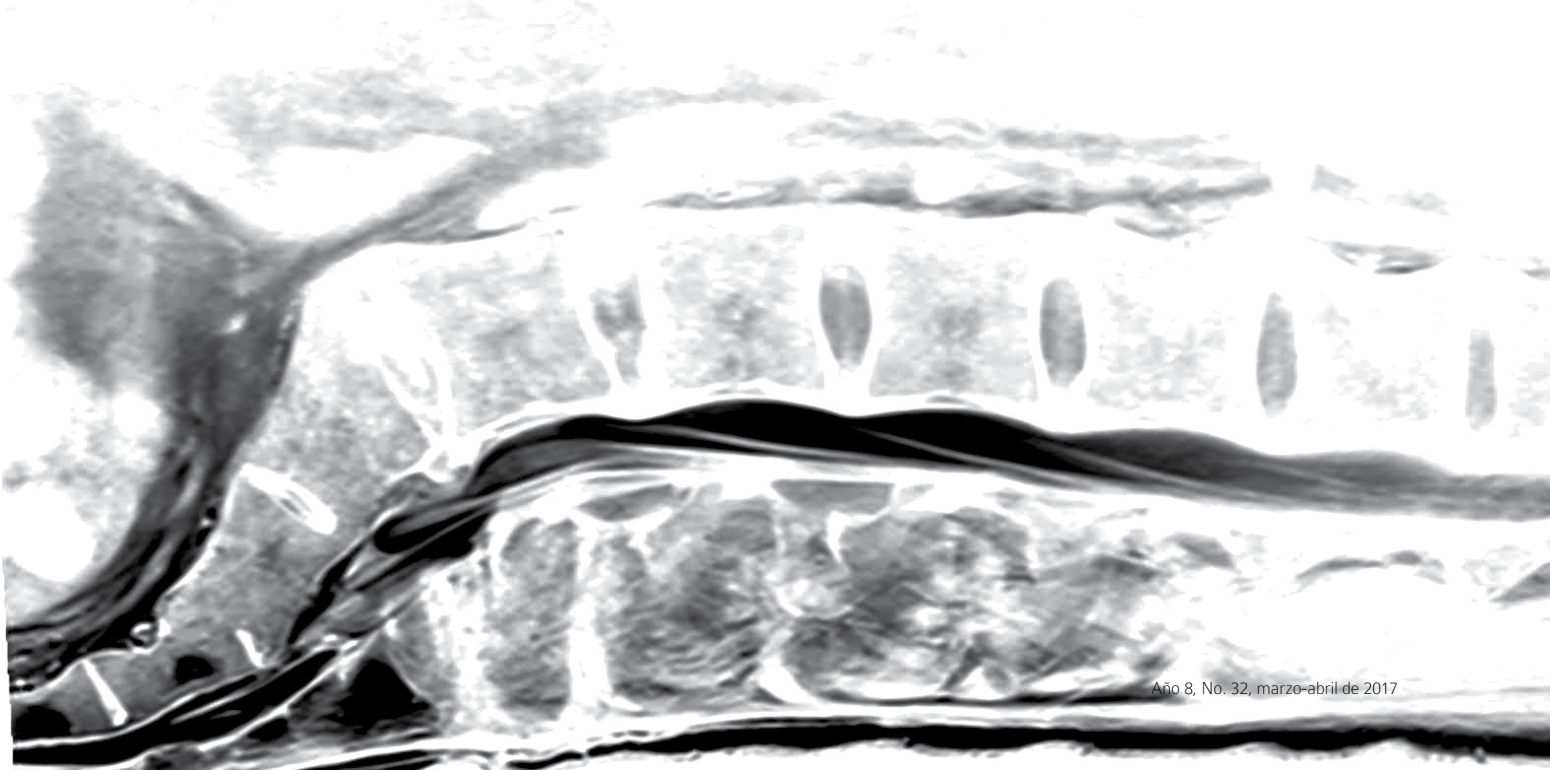
una mezcla de cómputo paralelo con algoritmos estadísticos, esto es, tomar muestras de los datos y no de la gran cantidad de datos simulados vía métodos MC, a fin de realizar el procesamiento de las imágenes necesarias para un diagnóstico clínico y en un tiempo razonablemente corto³.

Asimismo, podemos mencionar que existe una amplia gama de aplicaciones adicionales de detectores de radiación para sistemas de diagnóstico, como son las cámaras de positrones (PET, por sus siglas en inglés), cámaras de fotón único (SPECT) y detectores de silicio para imágenes de mamografía, entre otros⁴, así como, en el área de tomografía optoacústica, con el fin de tener medios de diagnóstico que no sean invasivos para el paciente y que repercutan en su mejor calidad de vida.

Todo lo anterior nos permite concluir que el área de aplicación de las computadoras en la física médica será un área de expansión y desarrollo en los años venideros. Un área abierta a una infinidad de posibilidades.

Referencias

- [1] Rogers, D. W. O. "Fifty years of Monte Carlo simulations for medical physics" *Phys. Med. Biol.*, 2016.
- [2] Raeside, D. E. "Monte Carlo principles and applications" *Phys. Med. Biol.* 21, 1976, 181–97.
- [3] Kun W., et. al., *Accelerating Image Reconstruction in Three-Dimensional Optoacoustic Tomography on Graphics Processing Units*, 2017. Disponible en: <http://arxiv.org/pdf/physics-med-ph/1304>.
- [4] Alva-Sánchez, H., Murrieta T., Moreno-Barbosa, E., Brandan, M. E., Ruiz-Trejo, C., Martínez-Dávalos, A., Rodríguez-Villafuerte, M., "A small animal PET system based on LYSO crystal arrays, PS-PMT and PCI DAQ board", *IEEE Transactions on Nuclear Science* 57(1), 2010, 85-92.



cirugía refractiva

Corrección visual con láser

Eduardo Tepichín Rodríguez

Ciencias de la Imagen y Física de la Visión / Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica





Un ojo humano capaz de ver nítidamente objetos localizados a seis metros o más de distancia, y también objetos cercanos ubicados a 25 centímetros, se clasifica típicamente como un ojo con visión normal o emétrope. Sin embargo, es muy común que se presenten casos en los que para un ojo humano no sea fácil visualizar imágenes lejanas (ojo miope), o imágenes cercanas (ojo hipermetrópe), o que vea las imágenes un poco alargadas o deformadas (ojo astigmático).

A este tipo de dificultades visuales suele llamársele ametropía, y define los problemas de refracción típicos de los ojos, para su corrección pueden utilizarse: anteojos, lentes de contacto y, recientemente, en una técnica conocida como cirugía refractiva mediante el uso del láser, aplicada a la cara anterior de la córnea. La técnica está madura y se tienen muchos casos de éxito. Pero, ¿es posible entender por qué funciona la técnica sin tener grandes conocimientos de la interacción de la radiación y la materia, o de cómo funciona la visión humana? Consideramos que sí. Para ello, es necesario hacer referencia a varias situaciones de óptica y optometría básicas que permitirán explicar el funcionamiento general de esta técnica. Como primer paso, iniciaremos la descripción de la formación de imágenes en el ojo al comparar el sistema ocular con la formación de imágenes por una lente. Esta explicación que es clásica y se ha hecho desde hace ya muchos años, nos permite entender las principales ametropías del ojo, descritas anteriormente, en función de dónde se forma la imagen de un objeto en relación a la retina, tal y como se muestra en la figura 1.

» Es importante decir que no pensemos al paisaje sólo como escenario o telón de fondo, sino que definitivamente como parte del drama; no es pasivo, sino activo, no es estático, sino dinámico y cambia permanentemente; no es sólo objeto de contemplación, sino lugar de acción.

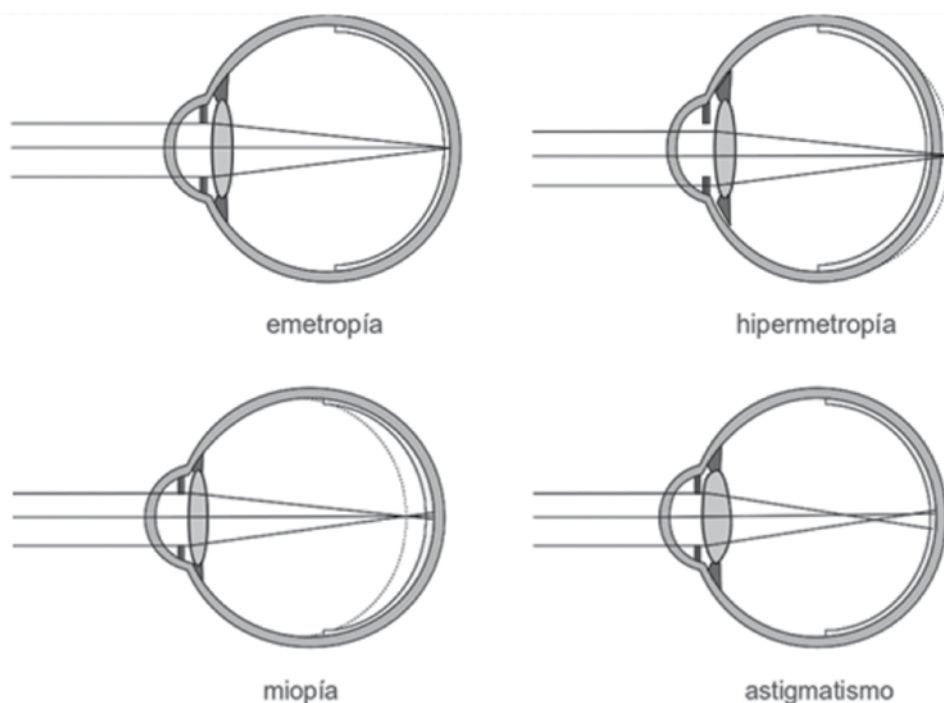


Figura 1. Principales ametropías del ojo humano.

Tradicionalmente, al utilizar anteojos las ametropías del ojo humano se han corregido mediante una lente externa. Se utilizan lentes positivas para corregir hipermetropía, lentes negativas para corregir miopía, y lentes cilíndricas para corregir astigmatismo. Los detalles de estas correcciones pueden ser consultados en cualquier libro de óptica o de optometría básica. Aunque, ¿cómo es que un láser, modificando la cara anterior de la córnea puede realizar el mismo efecto que los anteojos? Para ello tenemos que recordar que una lente positiva forma la imagen de un objeto en una posición tal que depende de varios factores: la distancia a la que se encuentre el objeto de la lente positiva y de su distancia focal, la cual depende a su vez del radio de curvatura de las superficies de la misma.

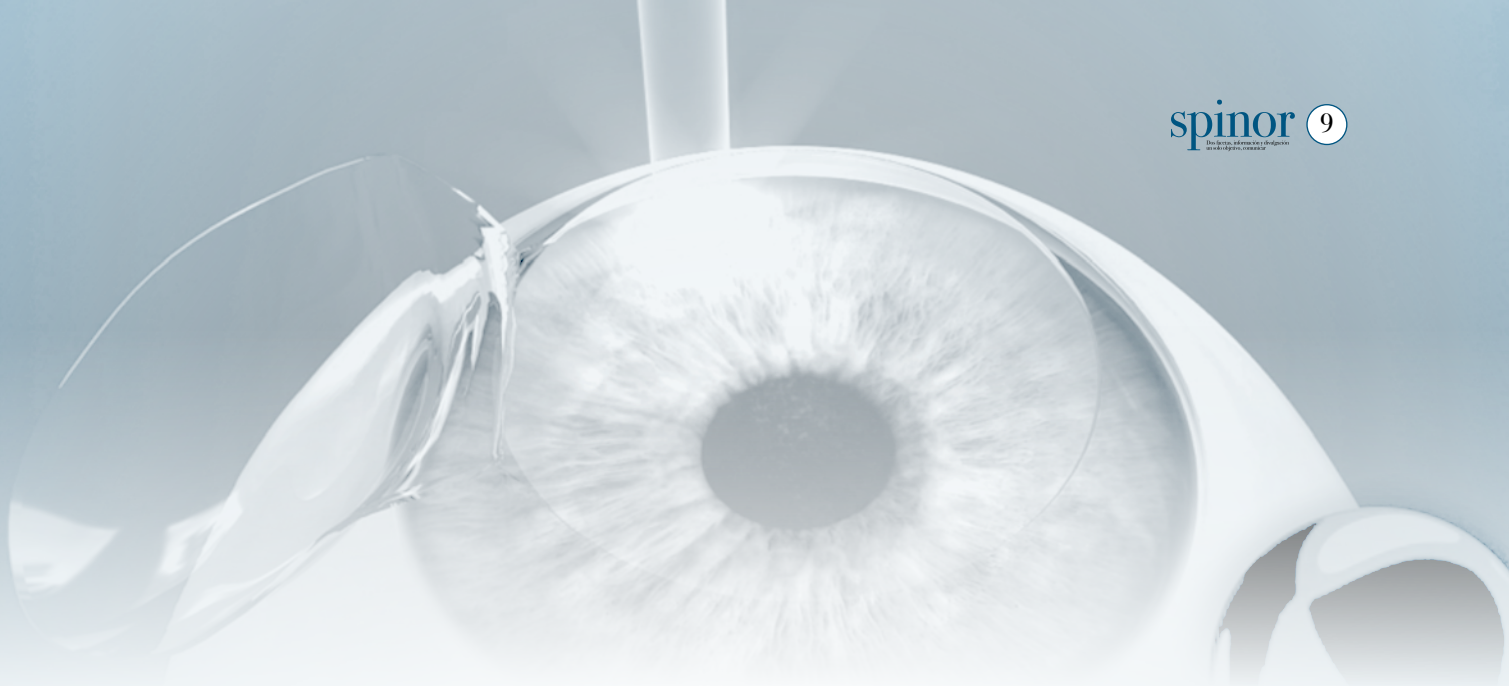
Es decir, si suponemos que el objeto es un punto, y se encuentra a cierta distancia de una lente positiva, la imagen se forma a una cierta distancia de la lente. Si ahora modificamos su curvatura, la posición de la imagen se acerca a la lente haciéndola más grande, lo que da la apariencia de una lente más gorda. Esto significa que estamos disminuyendo el radio de curvatura de las superficies.

Por el contrario, si hacemos que la lente tenga una menor curvatura, lo que hace que parezca más delgada,

» Es simple de entender: si tenemos miopía, lo que significa que la imagen se forma antes de la retina, debemos aplanar la cara anterior de la córnea; es decir, disminuir las dioptrías del ojo..

da, la imagen del punto se alejaría aun más de la lente. Ahora estaríamos aumentando el radio de curvatura. Por otro lado, si modificamos la distancia del objeto a la lente, y dejamos fija la curvatura, lo que significa dejar fija la distancia focal, la posición de la imagen también varía. Demasiadas complicaciones.

Entonces ¿cómo es que un ojo normal logra que independientemente de la posición, la imagen siempre se forme a la misma distancia, es decir, que se forme sobre la retina? Muy simple, ivariando su distancia focal! Esta variación se debe a que afortunadamente en el ojo contamos con una lente variable dentro, que se llama cristalino y que cuando está sano, permite variar la distancia focal cambiando su grosor. Esta función se lleva a cabo mediante el musculo ciliar. Para imágenes muy lejanas, el cristalino se adelgaza debido a que el



musculo ciliar está relajado, y para imágenes muy cercanas el cristalino se engrosa debido a contracciones del musculo ciliar.

Sin embargo, cuando el cristalino no puede lograr las variaciones de su grosor y por ende de la distancia focal, se presentan situaciones como las descritas en la figura 1. Es decir, la imagen no se forma sobre la retina: tenemos ojos amétropes. ¿Cómo resuelve esta situación la cirugía refractiva con láser? Muy simple, modificando el radio de curvatura del sistema óptico del ojo. Para ello, requerimos concentrarnos en el otro elemento óptico que mencionamos anteriormente y que es la córnea. Es simple de entender: si tenemos miopía, lo que significa que la imagen se forma antes de la retina, debemos aplanar la cara anterior de la córnea; es decir disminuir las dioptrías del ojo.

Por otro lado, si tenemos hipermetropía debemos aumentar las dioptrías del ojo, lo que significa aumentar la curvatura. Para astigmatismo, necesitamos modificar la curvatura, tratando de simular una lente cilíndrica. Para ello, se utiliza el láser para modificar la curvatura de la cara anterior de la córnea, y con ello corregir la posición de la imagen.

En pocas palabras, al modificar la curvatura estamos tallando un lente sobre la cara anterior de la córnea, para no tener que utilizar anteojos. Ahora, parece simple de entender cómo es que funciona la cirugía refractiva con láser. Por supuesto que hay muchos detalles más que tienen que considerarse, pero independientemente de estos siempre es la misma idea: tallar una lente sobre la cara anterior de la córnea.

La figura 2 muestra la idea para una corrección de miopía con láser. Concluyo mencionando que existen diferentes técnicas para lograr esta modificación,

lo que depende de cómo se manipula antes de hacer incidir el láser. La descripción de cada una de éstas queda fuera del alcance de este trabajo, pero se puede consultar la bibliografía existente.

Cirugía LASIK para la miopía

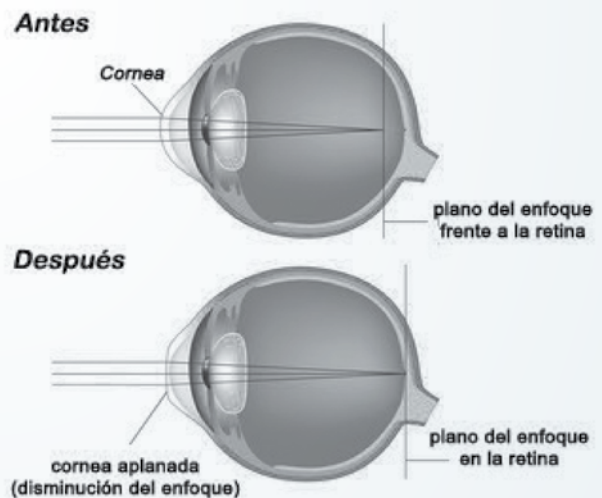


Figura 2. Tratamiento láser para miopía

Bibliografía

- Emmetropic eyes: Objective Performance and Clinical Reference*, Eduardo Tepichín-Rodríguez, Ángel S. Cruz Félix, Estela López-Olazagasti, Sandra Balderas-Mata, Proc. Of Spie vol. 8785, 8785G5-1--8785G5-T, 2013.
- Optics of the Human Eye*, David Atchison and George Smith, (Butterword, Heineman), 2002.
- Clinical optics: Basic and Clinical Science Course, section 3, 2005-2006*, American Academy of Ophthalmology, 2005.

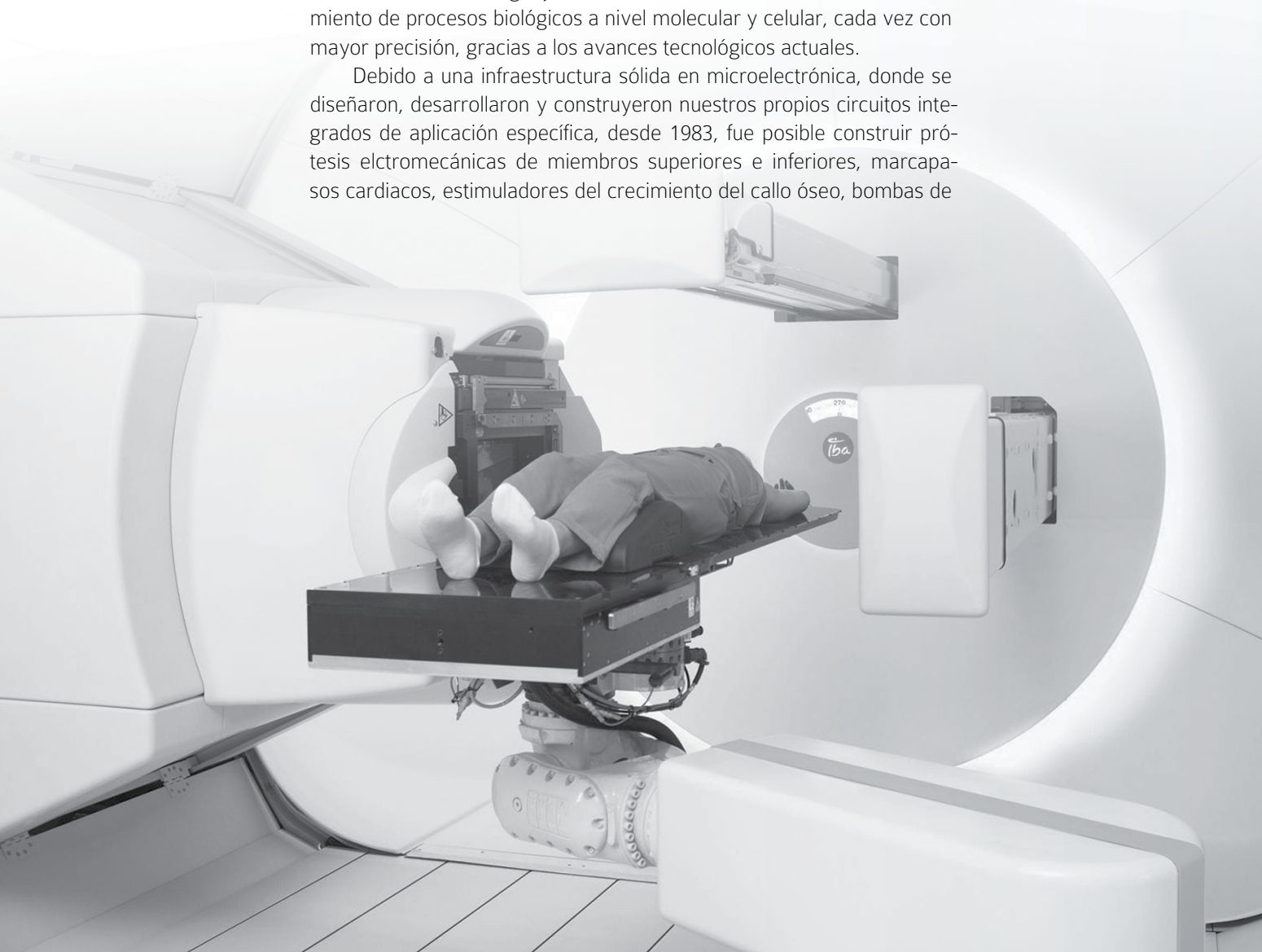
¿Qué estudia la Física Médica?

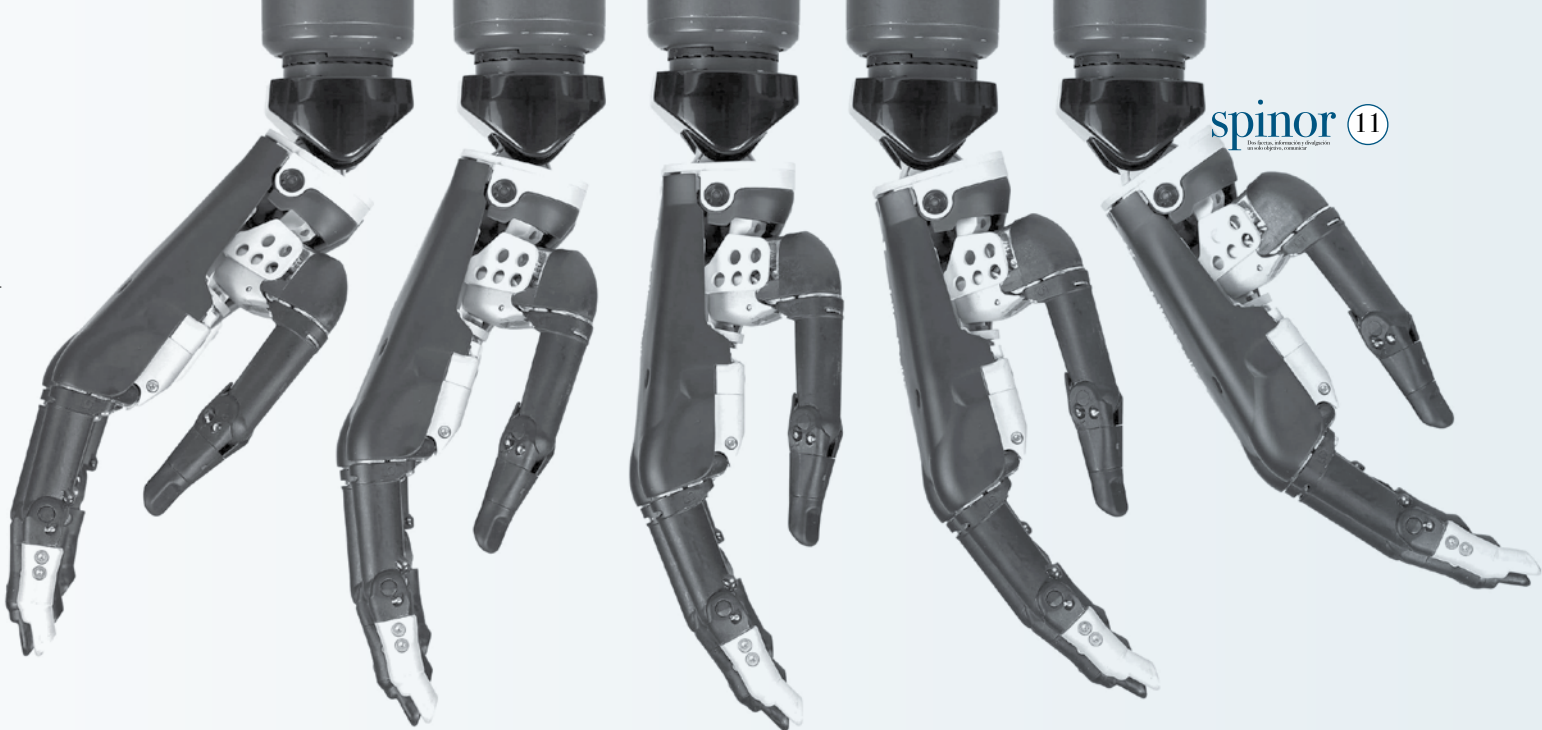
Elsa Chavira Martínez

Profesora-Investigadora Titular / Facultad de Ciencias de la Computación
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Correo-e: elsachavira56@hotmail.com

El antecedente más evidente de la física médica se realizó en siglo XIX con el descubrimiento de los rayos X. A partir de ese momento, la física, la biología y la medicina han interactuado en el conocimiento de procesos biológicos a nivel molecular y celular, cada vez con mayor precisión, gracias a los avances tecnológicos actuales.

Debido a una infraestructura sólida en microelectrónica, donde se diseñaron, desarrollaron y construyeron nuestros propios circuitos integrados de aplicación específica, desde 1983, fue posible construir prótesis electromecánicas de miembros superiores e inferiores, marcapasos cardíacos, estimuladores del crecimiento del callo óseo, bombas de





insulina, etcétera. Todo este trabajo se desarrolló bajo la dirección del Dr. Alejandro Pedroza Meléndez, en conjunto con un grupo de investigadores multi e interdisciplinarios. Actualmente, se sigue trabajando en la construcción de prótesis de miembros superior e inferior, para cubrir la demanda de los pacientes amputados por pie diabético. También se está trabajando en el modelado para la prevención de este padecimiento a nivel mundial [2], [3].

Ahora, con los avances en las tecnologías de la información y comunicación, TIC, se favorece el diseño, desarrollo y construcción de las supercomputadoras para mejorar la velocidad de procesamiento y la capacidad de manejo de información en un banco gigantesco; con acceso a esta información de cómputo en la nube. Además, una gran capacidad de almacenamiento de información, manejo de *big data*, procesamiento de datos y la minería de datos biométricos. Con la visualización de estos datos en un dispositivo móvil, la física médica se ha dedicado al estudio de las patologías, y al modelado de tratamientos en simuladores, para estudiar los efectos de la radiación en tejidos y sus repercusiones en órganos aledaños.

Todo esto ha sido posible con las colaboraciones internacionales de proyectos que persiguen en común la predicción de enfermedades, control de pandemias y busca de nuevos tratamientos que no tengan consecuencia colateral irremediable. Por lo tanto, la física médica junto con la ingeniería biomédica diseña, desarrolla, construye prototipos, y propone nuevos protocolos para el diagnóstico y tratamientos, así como abordajes innovadores en cirugía de mínima invasión, que han revolucionado los tratamientos médicos a menor costo y de rápida recuperación para el paciente.

Otra de las tareas es poner de acuerdo a los físicos, médicos, ingenieros biomédicos, para que se utilice un mismo lenguaje para el diagnóstico y los tratamientos de patología humanos. Un médico debe ser capaz de interpretar adecuadamente el resultado que está arrojando el instrumental biomédico, que puede estar

» A partir de conceptos básicos de la física, la ingeniería biomédica diseña, desarrolla, construye prototipos, propone nuevos protocolos para el diagnóstico y tratamientos, así también abordajes innovadores en cirugía de mínima invasión, que han revolucionado los tratamientos médicos, a menor costo y rápida recuperación del paciente.

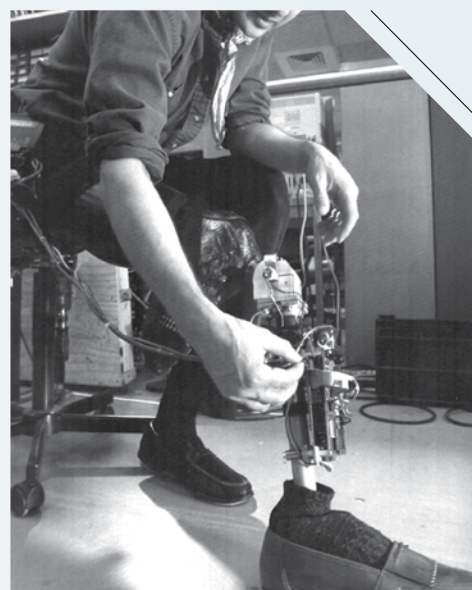


Figura 1. Prótesis de miembro inferior

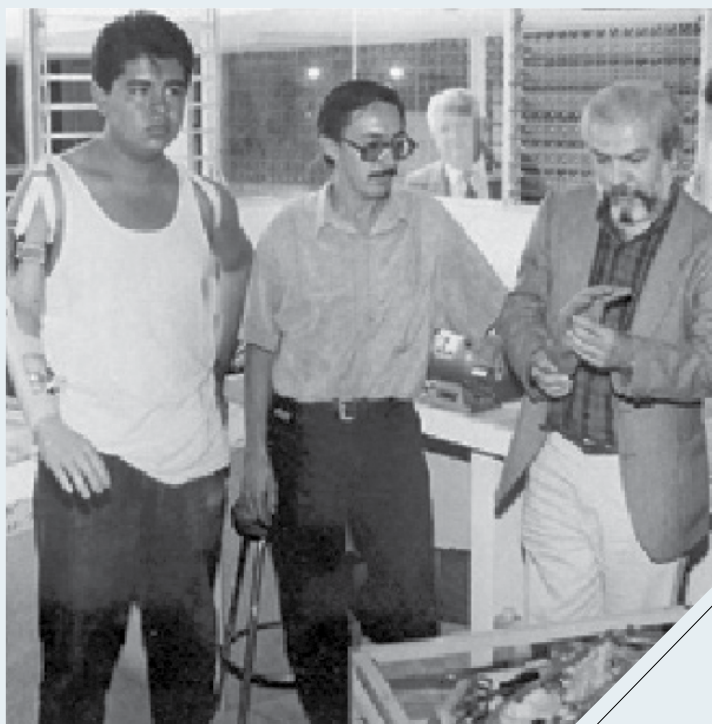


Figura 2 y 3. Prótesis debajo de rodilla. Diseñada, desarrollada y construida en el Departamento de Ingeniería Biomédica en el Centro de Rehabilitación y Educación Especial CREE-DIF en Puebla, y prótesis de miembro superior arriba y debajo de codo. La mayoría de estos pacientes habían sido amputados por causas de diabetes y accidentes, así como por malformaciones congénitas.

calibrado de manera no apropiada y, por tanto, hacer un diagnóstico erróneo.

A partir de conceptos básicos de la física, la ingeniería biomédica diseña, desarrolla, construye prototipos, propone nuevos protocolos para el diagnóstico y tratamientos, así también abordajes innovadores en cirugía de mínima invasión, que han revolucionado los tratamientos médicos a menor costo y rápida recuperación del paciente.

Áreas de interés de la física médica

Todos los hospitales deben contratar un porcentaje de físicos médicos e ingenieros biomédicos, no para hacer labores de mantenimiento, como actualmente sucede en algunos hospitales en México, sino para dedicarse al estudio específico del fenómeno de la radiación ionizante en humanos. En la actualidad, el resultado de estos estudios tiene una gama muy grande de aplicaciones, que abarca prácticamente todo el espectro electromagnético de radiaciones. Esto se resume en cuatro aspectos fundamentales: a) garantizar y controlar la calidad del servicio; b) diseñar e implementar protocolos de seguridad radiológica para evitar iatrogenias; c) investigación y desarrollo; y d) administración hospitalaria.

Actualmente, en los hospitales modernos y certificados se cuentan con:

- **Investigaciones en el tratamiento de señales bioeléctricas** [4] de órganos, como son: corazón (cardiopatías, *electrocardiografía*), cerebro (neurociencias, *electroencefalografía*), sistema muscular (rehabilitación, *electromiografía*), el aparato digestivo (esofagopatías, úlceras pépticas, cálculos biliares, divertículos, y algunos otros, *electrogastrografía*) [5].
- **Investigaciones en neurociencias biomagnéticas** del cerebro: en el rastreo de posibles fuentes magnéticas generadas por la actividad neuronal [4].
- **Investigaciones en rehabilitación** [1] y terapias en artritis reumatoide, aplicaciones médicas de la radiación infrarroja (*termografía*).
- **Investigaciones en tratamientos contra el cáncer** y en fisioterapia para la rehabilitación muscular, mediante calor (*hipertermia*).
- **Investigación de los riesgos de las radiaciones** y la forma de protegerse contra ellos (*bioseguridad-protección radiológica*).
- **Investigación en imagenología**. Esto es en el procesamiento digital de imágenes para su

diagnóstico, con diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético: rayos X, ultrasonido, resonancia magnética, asociados con la *radiología diagnóstica* y la teleterapia.

- **Investigaciones en los efectos y alteraciones en el diagnóstico**, mediante el uso de imágenes y a partir de la emisión de radioisótopos (*medicina nuclear*).
- **Investigaciones en el tratamiento del cáncer** a través de radiación ionizante (*radiooncología*).
- **Investigación en la intervención quirúrgica** mediante uso de láser (*cirugía con láser*).
- **Desarrollo tecnológico** de herramientas para cirugías auxiliadas con robots.
- **Desarrollo de software** para el manejo de datos (en la minería de datos). Aprendizaje no supervisado para determinar grupos de pacientes con características similares; algoritmo de agrupamiento, regla de asociación a priori. Aprendizaje supervisado para predecir el riesgo de padecer alguna enfermedad crónica degenerativa. Por ejemplo, mediante algoritmos de árboles de clasificación, aprendizaje bayesiano, entre otros.
- **Manejo de un expediente clínico-médico** único, que podría ser consultado de manera segura, confidencial y desde cualquier parte del mundo.
- Investigación en la medicina a distancia telemedicina y ciber salud.

Los físicos e ingenieros biomédicos son especialistas, cuya tarea fundamental es la aplicación y el desarrollo de técnicas y procedimientos físicos en medicina. Cuentan con amplio conocimiento en tres disciplinas científicas: *física, ingeniería*, dentro de la cual se incluyen *bioestadística, matemáticas, computación, instrumentación biomédica, biomateriales, radiaciones y medicina*; en conjunto con *biología molecular, anatomía, genética, bioquímica, fisiología y medicina interna*. En consecuencia, el especialista en formación recibe un entrenamiento práctico intensivo en forma de residencia hospitalaria.

Este especialista se forma no únicamente con entrenamiento académico: además debe tener destrezas, haber desarrollado habilidades hápticas y contar con experiencia práctica, tanto en problemas médicos como en una amplia gama de equipos y tecnologías. Esto se logra mediante educación continua en forma de programas formales de posgrado, luego de terminar su entrenamiento.

Los físicos e ingenieros biomédicos están típicamente involucrados en tres áreas de actividades: *servicios clínicos y consultoría; investigación y desarrollo, y docencia*. Las actividades de un físico médico y un ingeniero biomédico no son aisladas, ya que dependen de la convocatoria y la participación de todos los componentes estructurales del proceso de atención al paciente, incluyendo administradores, técnicos, enfermeras y médicos. Esta actividad multidisciplinaria resulta útil para crear y consolidar los comités de seguridad radiológica y los comités de bioética; garantizados en calidad, y que son ya reglamentados en muchos países como procesos de acreditación o de recertificación hospitalaria.

En México, la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) es la encargada de vigilar que las Normas Oficiales Mexicanas en cuestión de salud se cumplan [6].

Referencias bibliográficas:

- [1] Chavira Martínez Elsa, Pedroza Meléndez Alejandro, *Análisis de Bioseñales para el Desarrollo de Neuroprótesis*, Primer Congreso Iberoamericano de Neurorehabilitación, Centro Mexicano Universitario de Ciencias y Humanidades, ISBN: 978-607-96368-1-4, 27 de marzo de 2015.
- [2] Chavira Martínez Elsa, Pedroza Meléndez Alejandro, *Diseño y desarrollo de BioMEMS con tecnología mexicana*, III Congreso Nacional de Temas Relacionados con Cirugía del Aparato Digestivo, Asociación Mexicana de Cirugía del Aparato Digestivo A. C., 10 de agosto de 2014.
- [3] Guyton Hall, *Tratado de Fisiología Médica*, 10ª Ed, McGraw-Hill, 2012.
- [4] Pedroza Meléndez Alejandro, Fraguela Collar Andrés, Chavira Martínez Elsa, Durán López Rafael; *Introducción al Bioelectromagnetismo y Bioseñales*, Corporativo Intermédica, S. A. de C. V., Corinter, ISBN: 978-607-7618-478, 2015.
- [5] Pedroza Meléndez Alejandro, Chavira Martínez Elsa, *Intropatogenia y complicaciones derivadas del uso de nuevas tecnologías en medicina*, 3er Congreso Nacional de Temas Relacionados con Cirugía del Aparato Digestivo, 10 de agosto de 2014.



Figura 4. Cuco el guapo

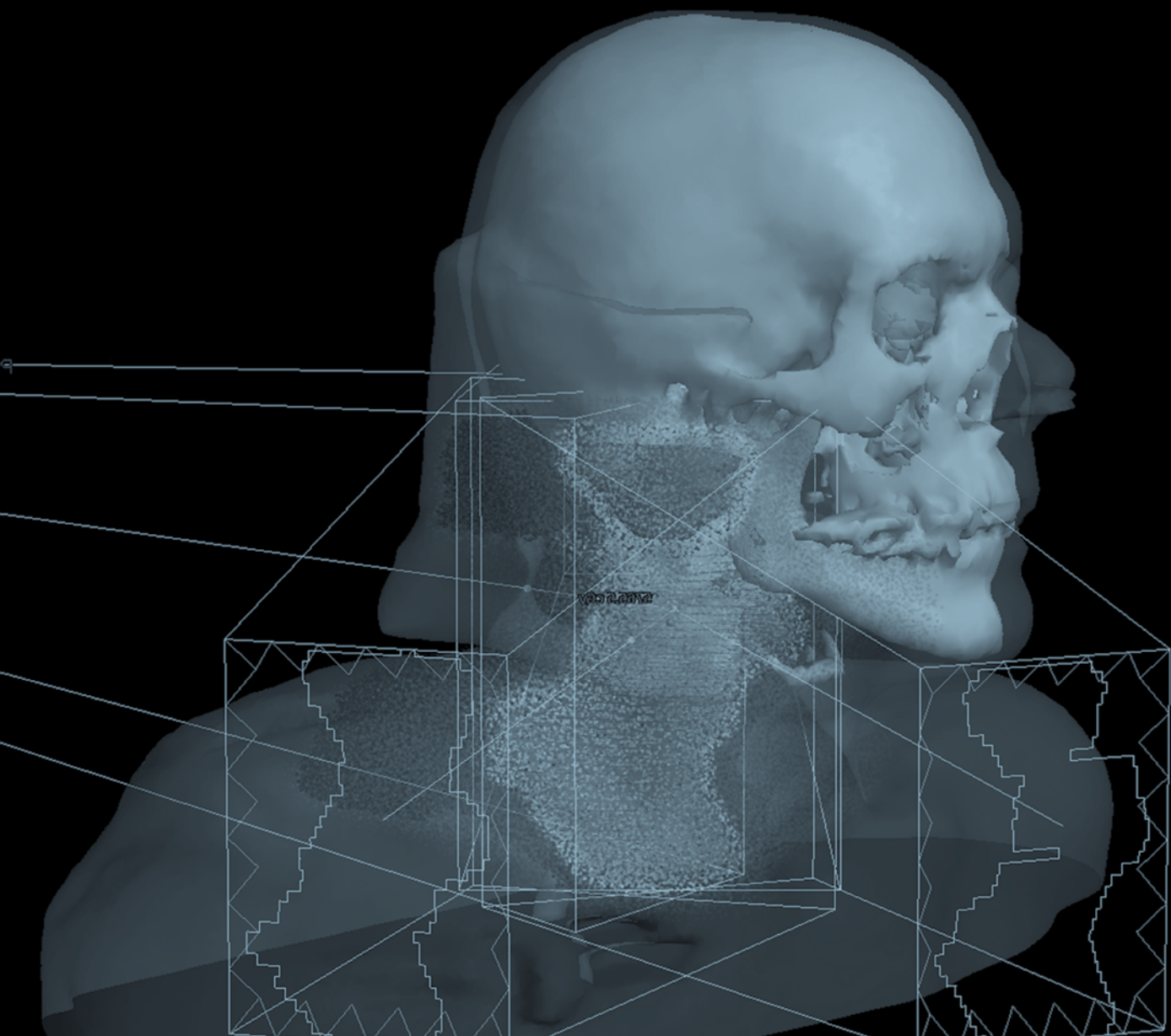
La física médica y la radiación

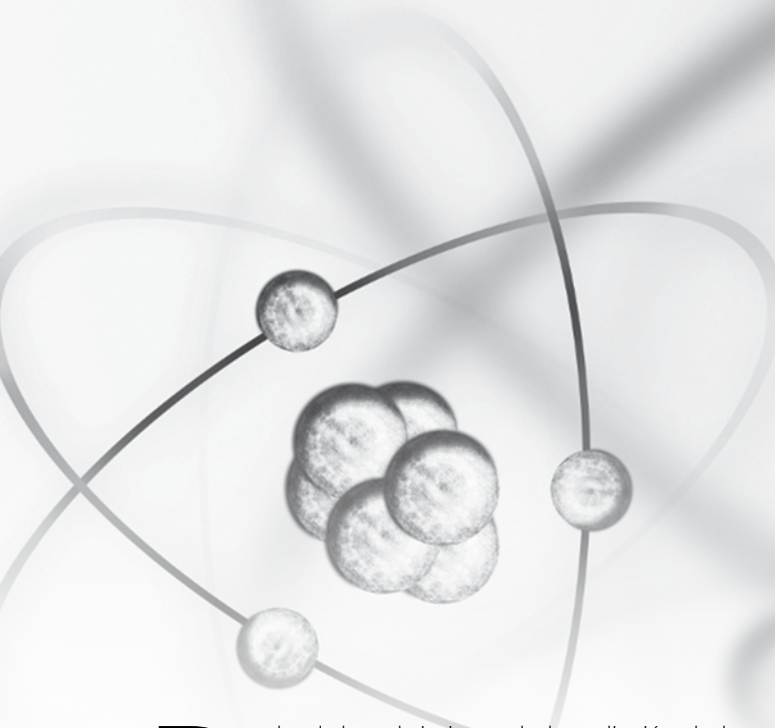
Epifanio Cruz Zaragoza,

Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM / ecruz@nucleares.unam.mx

Rodolfo Palomino Merino

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, BUAP / palomino@cfm.buap.mx

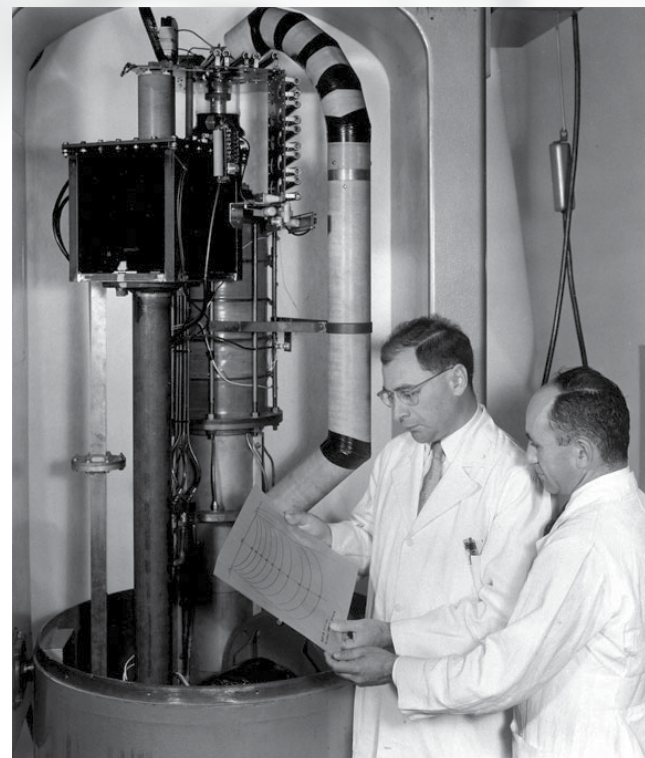




Desde el descubrimiento de la radiación de los rayos X en 1895, se encontraron beneficios como la obtención de imágenes llamadas radiografías, pero su mayor e inmediata utilidad fue en otros campos como el de los alimentos. El uso más claro fue en pruebas de esterilización de leche, cosméticos y tabaco usando un acelerador de electrones, incluso existe la primera patente británica del año 1905, para irradiar con radio al cereal y derivados. También, la construcción del primer acelerador de electrones en Alemania en 1957, propuesto para ionizar comestibles como carnes, huevos y artículos de uso común con fines de sanitización y mejora de su calidad higiénico-sanitaria. Hasta lograr que actualmente se comercialicen, en casi cuarenta países, a los alimentos procesados por radiación gamma, rayos X y electrones; para eliminar a insectos, larvas o plagas de frutas, vegetales, semillas, suelo, etcétera. Los que evitan el contagio de plagas y enfermedades que pueden transmitirse de un país a otro o entre regiones continentales.

Existen numerosos ejemplos del uso de la radiación ionizante —algunas veces mal usada—, mediante la acción de las bombas atómicas al final de la Segunda Guerra Mundial. Otras veces, en accidentes aéreos durante la guerra fría; algunas más aceptables como el combustible atómico en satélites, naves espaciales, barcos rompe-hielos, etcétera. Finalmente, hay otra utilidad actual, muy noble en su aplicación, en el área de la medicina; concretamente para el tratamiento del cáncer.

En salud, la radiación ha desempeñado un papel relevante. En sus inicios, en los años 40, se usó la radiación con el elemento radio con fines terapéuticos, para tratamiento de cáncer de piel. Pero, el conocimiento en protección radiológica aún no estaba muy desarrollado. También fueron diseñados irradiadores gamma con cabezales de cobalto-60 y cesio-137, para tratamiento de teleterapia, y varias fuentes radiactivas para implantes y tratamiento de braquiterapia; materiales nucleares obtenidos en reactores atómicos hacia fines de los años 50 y que todavía se siguen pro-



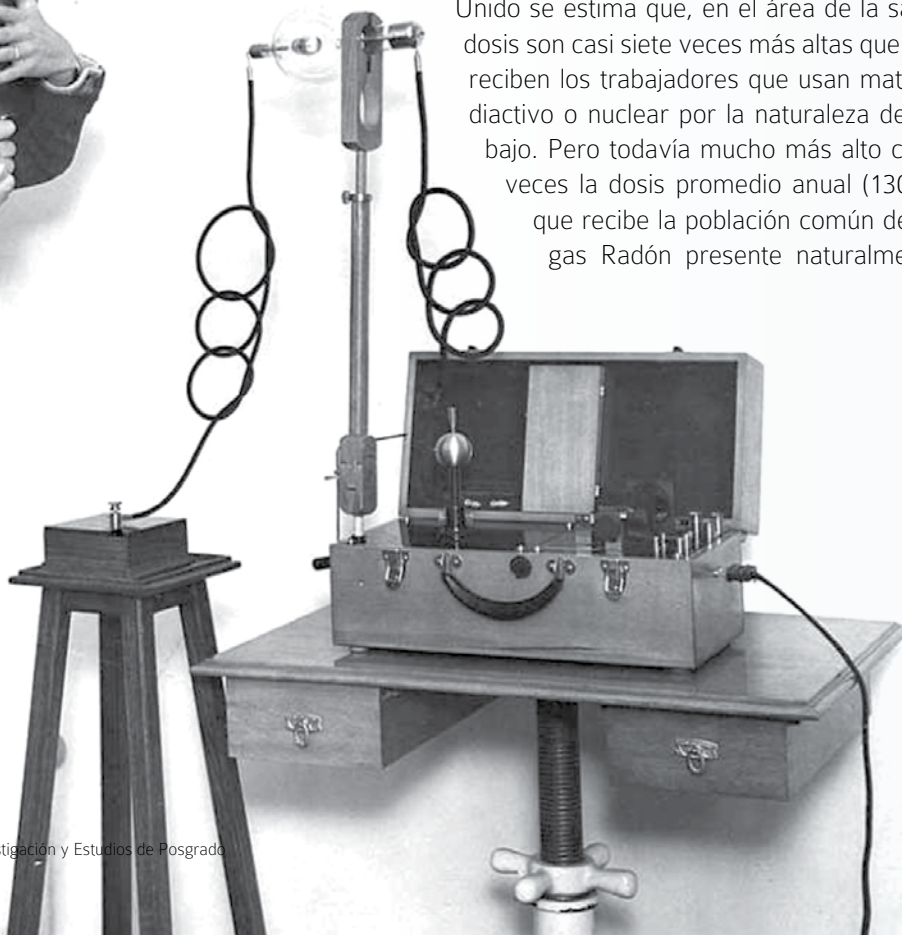
Entre los años 2000 a 2010, del total de la aplicación de la radiación en el mundo, el área de la salud alcanzó 22%, que comparada con otros sectores ocupa el segundo lugar.

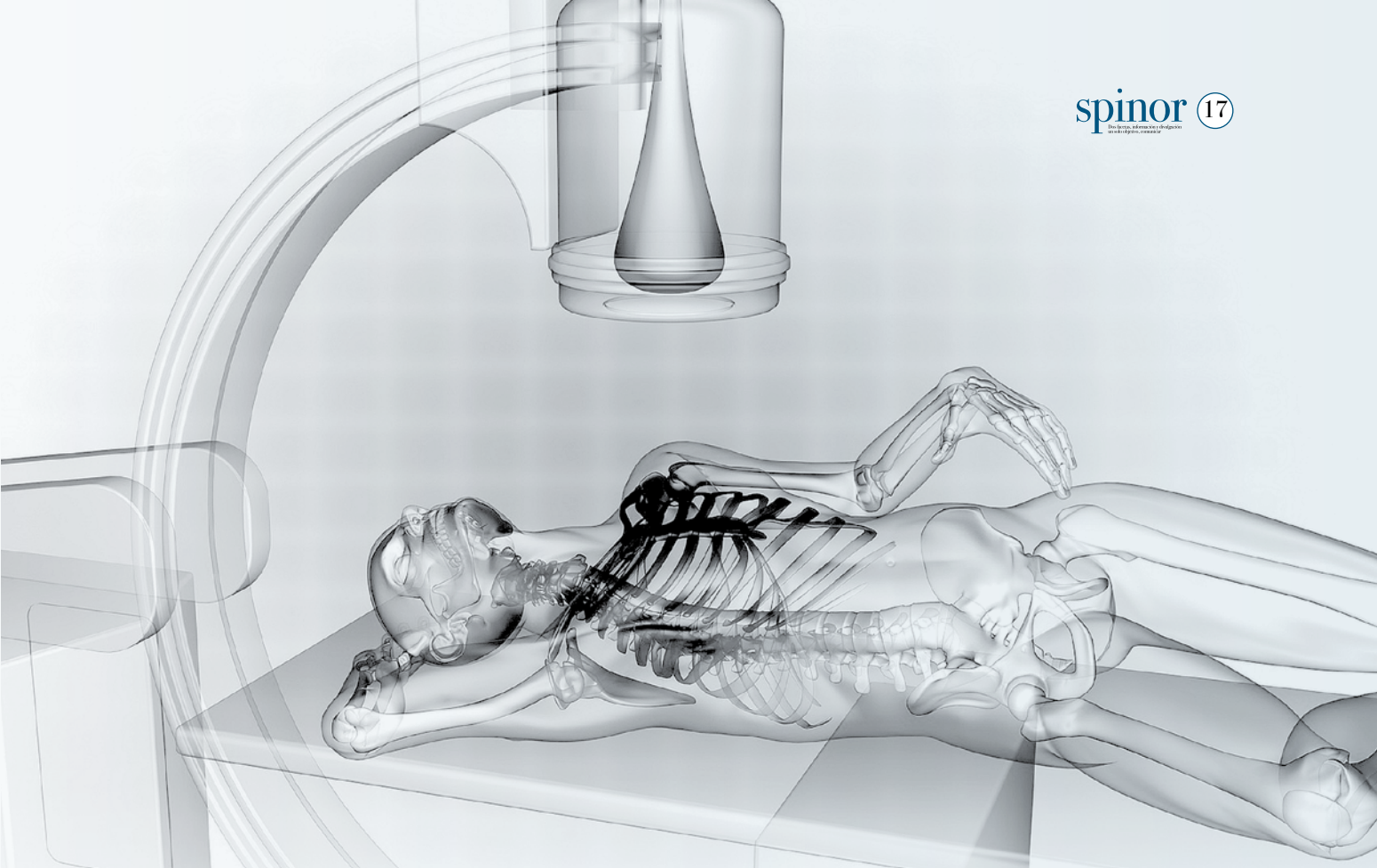
» El hecho de que a la radiación puede dársele uso terapéutico, concretamente para tratar al cáncer, hizo necesaria una nueva rama de conocimiento especializada en seguridad y protección radiológica

duciendo. Los cabezales de Co-60 y Cs-137 fueron usados para tratamiento de cáncer en profundidad del cuerpo humano, debido a la propiedad de la alta energía de esa radiación gamma, para penetrar al cuerpo y a materiales densos. A su vez, esos cabezales han venido siendo sustituidos por aceleradores, y con irradiadores gamma cada vez más eficientes y seguros, que continúa produciendo la industria nuclear dedicada a fines pacíficos. También se siguen haciendo soluciones acuosas diluidas para quimioterapia, que reciben los pacientes con cáncer, en la cual, los efectos son severos en todo el cuerpo.

Entre los años 2000 a 2010, del total de la aplicación de la radiación en el mundo, el área de la salud alcanzó 22%, que comparada con otros sectores ocupa el segundo lugar. Por ejemplo, la investigación nuclear en general fue de 26%, de industria y medio ambiente 15%, en seguridad nuclear y protección radiológica de 15%, la agricultura 13%, y en aplicaciones físicas y químicas 9%. Además, el área de la salud es la de mayor riesgo por la dosis que se deposita en el cuerpo.

Un alto porcentaje de dosis para la población se ha calculado en varios países, que supera la dosis cósmica recibida en los vuelos en aviones comerciales, y a la radiación que reciben los trabajadores expuestos en sus trabajos o en la producción de energía eléctrica. Un aspecto importante a evaluar cotidianamente en los tratamientos médicos en México, son las dosis recibidas por los pacientes en los tratamientos oncológicos, de radiografías, tomografías, etcétera. Por ejemplo, en el Reino Unido se estima que, en el área de la salud las dosis son casi siete veces más altas que las que reciben los trabajadores que usan material radiactivo o nuclear por la naturaleza de su trabajo. Pero todavía mucho más alto casi 200 veces la dosis promedio anual (1300 μ Sv) que recibe la población común debida al gas Radón presente naturalmente en

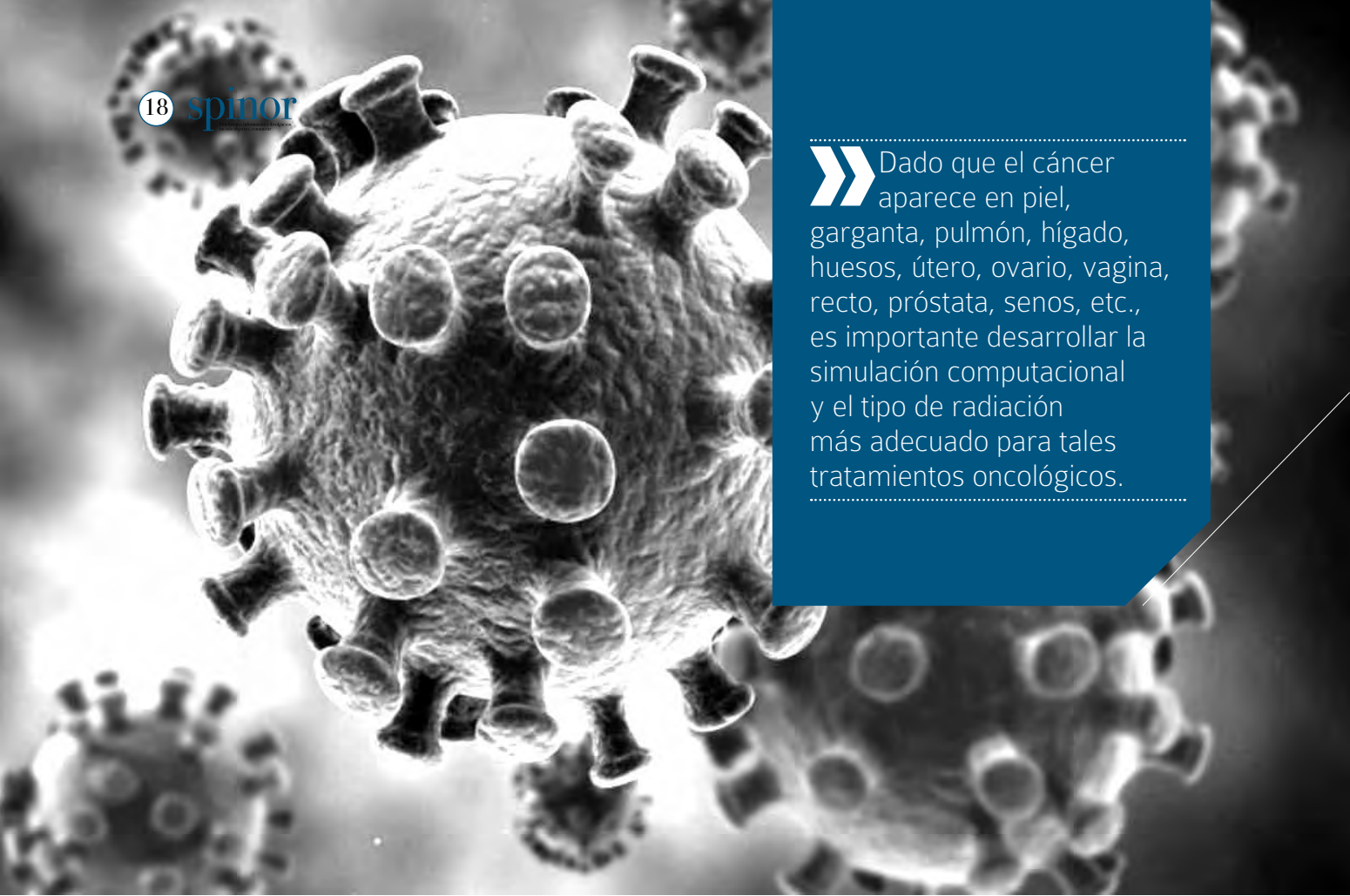




subsuelos, cavernas y minas. Sin embargo, en el área médica las dosis se vuelven importantes por el hecho de que se depositan dosis altas en tiempos breves. Lo cual constituye un gran reto para la mejora de la tecnología y de desarrollo de la mejor manera de la investigación científica y tecnológica.

El hecho de que a la radiación puede dársele uso terapéutico, concretamente para tratar al cáncer, hizo necesaria una nueva rama de conocimiento especializada en seguridad y protección radiológica primero, y enseguida para investigar los efectos de la radiación en los tejidos, huesos, músculos, etcétera, del humano al exponerse a la radiación. Esta especialidad es conocida como Física Médica o Física en Medicina. Los avances más significativos están ocurriendo en los países europeos, que bajo el auspicio y financiamiento de la comunidad europea han hecho posibles los avances sustanciales y de cada país, como Francia, Suiza, Italia, Reino Unido, Alemania y Suecia, en donde se pueden encontrar centros e institutos dedicados exclusivamente a la investigación del tratamiento del cáncer que cada vez es más costoso su tratamiento, y nada sería mejor que México construyera su propio conocimiento también. Así, en esos países desde 1991 se tienen ya nuevos equipos como los aceleradores llamados sincrotrones y ciclotrones para realizar la hadronterapia, que consiste en usar haces de radiación de protones en áreas muy particulares y muy precisas como el ojo humano, con muy buenos resultados y evitando depositar dosis altas en tejido u órgano cercano en el cuerpo humano. Inmediatamente uno de los retos es la medida precisa de las dosis que se imparte. La dosimetría

» Actualmente se simulan computacionalmente la interacción de la radiación con el ojo humano, músculos, órganos y tejido óseo. Pero, referirnos a la radiación implica aclarar que existen distintos tipos, tales como partículas alfa, beta, protones y neutrones principalmente, además se engloba a la radiación por fotones gamma y de rayos-x.



» Dado que el cáncer aparece en piel, garganta, pulmón, hígado, huesos, útero, ovario, vagina, recto, próstata, senos, etc., es importante desarrollar la simulación computacional y el tipo de radiación más adecuado para tales tratamientos oncológicos.

debe auxiliarse de sistemas de cómputo y de materiales con propiedades dosimétricas, actualmente hay varios laboratorios en el mundo dedicados a obtener cada vez mejores materiales que pueden indicar o determinar las dosis precisas que recibe un paciente. Aquí es importante resaltar que el país necesita invertir recursos para crear un centro dedicado al uso de aceleradores, que realice tanto investigación como aplicaciones para el tratamiento de pacientes con cáncer y que forme recursos humanos de alta calidad, pues dados los altos índices de reproducción de su población que México tiene, resulta impostergable la inversión en este sector de la salud.

Actualmente, en el país hay pocas universidades que ofrecen a los estudiantes graduarse en la especialidad de Física Médica, la cual se obtiene como maestría. Existe ya experiencia, entre ellas están la UNAM, el IPN y la UAEM, pero no cuentan con aceleradores propios capaces para desarrollar la hadronterapia en México. Los aspirantes en el área de física médica son habitualmente quienes cursan la carrera de Física. Sin embargo, se requiere una interrelación de especialidades tales como la medicina, la biología, la química, matemáticas e ingeniería, para lograr abordar de manera casi completa los efectos de la radiación en el

cuerpo humano debido a su compleja composición y a la sensibilidad de sus órganos y tejidos a la radiación ionizante. Actualmente, se simula computacionalmente la interacción de la radiación con el ojo humano, músculos, órganos y tejido óseo. Pero referirnos a la radiación implica aclarar que existen distintos tipos tales como partículas alfa, beta, protones y neutrones principalmente, es así como se engloba a la radiación por fotones gamma y de rayos-x. Cada uno tiene un efecto particular en el cuerpo humano, por lo que esa complejidad de interaccionar con sus efectos en el ser vivo no se ha agotado en estudios recientes. Otro factor en esa complejidad es el tipo de raza humana, debido a que los protocolos de tratamiento oncológico en Europa y el continente americano, por citar solo dos, frecuentemente no dan los resultados esperados. Más aún, el resultado depende de cada persona debido a su composición corporal particular y a la replicación celular hecho que es aprovechado por el cáncer para propagarse y desarrollarse rápidamente. Esta es una razón poderosa para dar mayor importancia a la física médica en México, donde la incidencia de cáncer es muy alta y cuyos factores que lo provocan no se conocen muy bien. Dado que el cáncer aparece en



piel, garganta, pulmón, hígado, huesos, útero, ovario, vagina, recto, próstata, senos, etcétera, es importante desarrollar la simulación computacional y el tipo de radiación más adecuado para tales tratamientos oncológicos. Desde luego disponer de los materiales equivalentes a tales partes del cuerpo para la medida experimental *in situ* con el paciente en el hospital y en el laboratorio para mejorar los métodos y protocolos de los tratamientos. Dentro del área de la radiación y sistemas inorgánicos y orgánicos son importantes por ejemplo el desarrollo de materiales similares a la composición del cuerpo humano y a su vez también puedan detectar a la radiación que llega al ser humano. Así, por ejemplo, se han probado más de 160 tipos de materiales tanto de tipo plásticos poliméricos y sólidos cristalinos divididos en cinco categorías; sólidos, agua, acuosos, gel y polvos. Entre estos materiales compuestos algunos se están desarrollando en los laboratorios de investigación en México, en instituciones como la UNAM, el ININ, BUAP, UAM, IPN y otras universidades. Sin duda, que debe invertirse más en el desarrollo científico y de tecnologías de equipos mexicanos para alcanzar el desarrollo que no ha llegado a muchos lugares del país, donde incluso no hay medicina ni hospi-

tales equipados para paliar al cáncer. Hoy día, existen en desarrollo los detectores electrónicos y acoplados a sistemas de cómputo, los cuales pueden ser de utilidad para censar las dosis que recibe el cuerpo humano ya sea en condiciones saludable o enfermo, y que también serán de uso en las medidas de las dosis en las travesías de las naves espaciales para viajar en el espacio cósmico y en las aventuras del humano hacia planetas como Marte, pero aún falta mucho por hacer tanto en la investigación como en el desarrollo de las tecnologías con miras a la conquista de otros Mundos, pero sobretodo profundizar aún más a la física médica interrelacionada con la Medicina en el país para el beneficio social que aún no cubre a toda la sociedad.

» Hoy día, existen en desarrollo los detectores electrónicos y acoplados a sistemas de cómputo, los cuales pueden ser de utilidad para censar las dosis que recibe el cuerpo humano ya sea en condiciones saludable o enfermo

Entrevista a la Dra. María Ester Brandan

Instituto de Física UNAM*



Sp: ¿Cuál es su formación profesional?

MAB: Obtuve la Licenciatura en Ciencias, en Física, en la Universidad de Chile, el Máster en Ciencias (M.Sc.) y el Doctorado en Filosofía (Ph.D.) en la Universidad de Wisconsin, Madison.

Sp: ¿Cómo surge su interés de trabajar en el área de física médica?

El Departamento de Física de UW-Madison contaba con un grupo en Física Médica. La investigación que se realizaba era totalmente original e interesantísima — temas que nunca imaginé podrían desarrollarse dentro de la física—, con profesores de calidad excepcional. Durante mis estudios de posgrado obtuve el doctorado, escogiendo Física como área principal (*major*) y Ciencias Radiológicas como área secundaria (*minor*). Mi tesis doctoral fue acerca del diseño y realización de un experimento de física nuclear, en el que se midió la transferencia lineal de energía a sitios de tamaño celular (pocos micrómetros), por núcleos liberados durante la irradiación de un plástico equivalente a tejido, por un haz de neutrones rápidos. Fue un trabajo de física nuclear, pero el interés provenía de la radiobiología de la radioterapia con neutrones.

Sp: ¿Cuáles son las líneas de trabajo de la física médica en México?

Física médica es el área en la que se aplican los principios y las herramientas de la física para resolver problemas asociados a la prevención, el diagnóstico y

el tratamiento de las enfermedades del ser humano. Además de ser un área de investigación, también es una especialidad profesional. En México se desarrollan ambas vertientes. Se investiga en dosimetría, asociada a las aplicaciones de la radiación ionizante, se imparte energía (“dosis”) al paciente; se buscan técnicas novedosas u optimizadas para obtener la máxima eficiencia en un tratamiento o la máxima información en las imágenes; se trabaja con resonancia magnética aplicada al diagnóstico de enfermedades, ya sea a través de imágenes o de estudios funcionales; se hace física biológica con interés en la prevención de las enfermedades; y se desarrolla instrumentación para integrar sistemas de formación de imágenes.

En la vertiente profesional, hay unos 160 físicos médicos trabajando en servicios de salud como parte del equipo médico, principalmente en servicios de radioterapia, y en menor medida en medicina nuclear y radiología. La creación, hace 20 años, de las dos Maestrías en Física Médica mexicanas ha permitido que más de 60% de los físicos médicos clínicos en México cuenten con posgrado en esta área, un requisito establecido por todas las recomendaciones internacionales para la práctica profesional segura y de calidad.

Sp: ¿Cuáles son los temas más importantes del área en México y en el mundo?

La investigación es tan amplia que al seleccionar unos temas seguramente omitiré otros igualmente importantes. Recomiendo al lector interesado que “hojeé” las

revistas líderes en el tema, *Medical Physics* de la AAPM y *Physics in Medicine and Biology* del IOP. Menciono tres temas de interés general: La radioterapia guiada por imágenes (de rayos-x, PET, ultrasonido o resonancia magnética) que contribuyen —en tiempo real— a la impartición de la dosis en el lugar apropiado. Las técnicas cuantitativas de imagen molecular que permiten visualizar funciones biológicas a nivel celular o tumoral, y el uso de modalidades de radiación no ionizantes (luz visible, sonido, ultrasonido, radiación térmica, entre otras), como ayuda para el diagnóstico.

En México, la Red Temática de Física Médica, creada en 2015, definió como intereses prioritarios para el futuro del área en el país, el desarrollo y aplicación de técnicas cuantitativas en el análisis de las imágenes médicas (incluida la radiómica), para orientar individualmente el curso de un tratamiento; desarrollo de una red integradora de datos fisiológicos para evaluar el estado de salud del paciente, y el uso de instrumentación de frontera para generar imágenes médicas y biológicas.

Sp: ¿Hay un carácter multidisciplinario del área?

El área es multidisciplinaria por definición. Los problemas surgen en la práctica de la medicina y la aplicación de la solución final será nuevamente médica. Desde otro punto de vista, aunque se origine en los principios de la física, la solución requerirá de la colaboración de especialistas en matemáticas, cómputo e ingeniería. En la vertiente profesional, el físico médico es parte del equipo médico multidisciplinario, también integrado por médicos, técnicos radiólogos y personal de enfermería.

Sp: ¿Cuál es el futuro profesional y desafíos de la física médica?

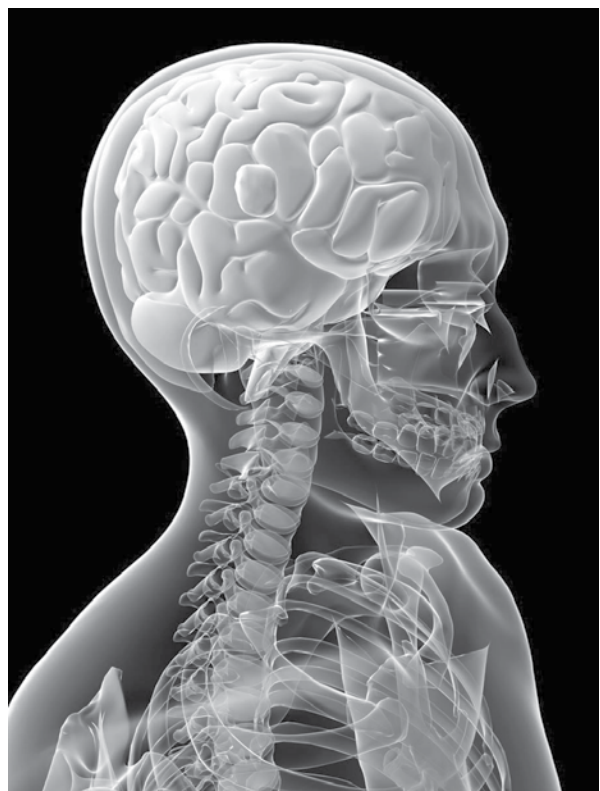
El futuro profesional es auspicioso. Los graduados de la Maestría en Física Médica de la UNAM, que coordino desde su creación, encuentran trabajo poco tiempo después de graduados o desarrollan una estancia clínica que les da entrenamiento práctico. Los salarios han aumentado considerablemente desde que existen físicos médicos con posgrado. El físico médico existe desde hace un par de años en el padrón de profesiones de la Secretaría de Salud, en un nivel comparable con el médico especialista y sus responsabilidades clínicas ya aparecen en la normativa nacional. Los graduados

de nuestra maestrías que deciden estudiar un doctorado, han ingresado a sus opciones de elección sin problemas. El mayor desafío es la consolidación de la profesión a través de un proceso nacional de certificación individual.

Sp: ¿Qué consejos les daría a los estudiantes jóvenes para que se interesen y estudien esta área?

Para entusiasmarse necesitan conocer de qué se trata. Buenos puntos de partida son *MedicalPhysicsWeb* (<http://medicalphysicsweb.org>) y la *Red de Física Médica* (<http://fisicamedica.mx>). Si el tema les interesa, deben estudiar lo necesario iniciando con física o ingeniería física ¡Para ser físico/a médico/a, primero hay que saber física!, luego hacer una Maestría en Física Médica. Al terminar la maestría, contarán con los conocimientos esenciales que les permiten entender las aplicaciones médicas, y podrán decidir cuál es la vertiente que más les entusiasma: profesional o investigación. De ser la segunda, se requerirá un doctorado para aprender a realizar investigación de frontera.

*Página personal: <http://www.fisica.unam.mx/~brandan/>





Reseña de Juan Azorín Nieto

Juan Azorín Nieto nació el 16 de julio de 1944 en la Ciudad de México. Realizó estudios de Licenciatura en Física y Matemáticas en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional (ESFM-IPN) y de Maestría en Física de Radiaciones y Seguridad Radiológica en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (FC-UNAM). El Doctorado en Física lo realizó en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-I), estudiando fenómenos de estado sólido como termoluminiscencia, lioluminiscencia y resonancia paramagnética electrónica y sus aplicaciones a la dosimetría de la radiación ionizante, cuya relevancia es primordial en la física médica.

El impacto de su trabajo sobre temas relacionados con el estudio de la lioluminiscencia y su aplicación a la dosimetría en la irradiación de alimentos lo hizo merecedor en 1985 al tercer lugar del Premio Nacional

en Ciencia y Tecnología de Alimentos, como asesor de Antonio Elizalde Mendoza, de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (ENCB-IPN), que participó en la categoría estudiantil.

Entre 1966 y 1968 se desempeñó como profesor de física y matemáticas en la Escuela Técnica Industrial "Wilfrido Massieu" y de 1966 a 1981 en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN. Ha realizado estancias como profesor invitado en las universidades de Roma y Florencia en Italia, en la universidad de Córdoba, Argentina y en las universidades de Sonora, Veracruz y Estado de México; así como en el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente, es profesor-investigador del Departamento de Física de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, desde 1994, donde lleva a cabo una labor ininterrumpida de investigación, desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos y vinculación con el sector médico de México. De 1969 a 1994 se desempeñó como investigador en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, donde fue distinguido con el Premio Manuel Sandoval Vallarta 1990, en reconocimiento al mérito en investigación científica y con el Premio Carlos Graef



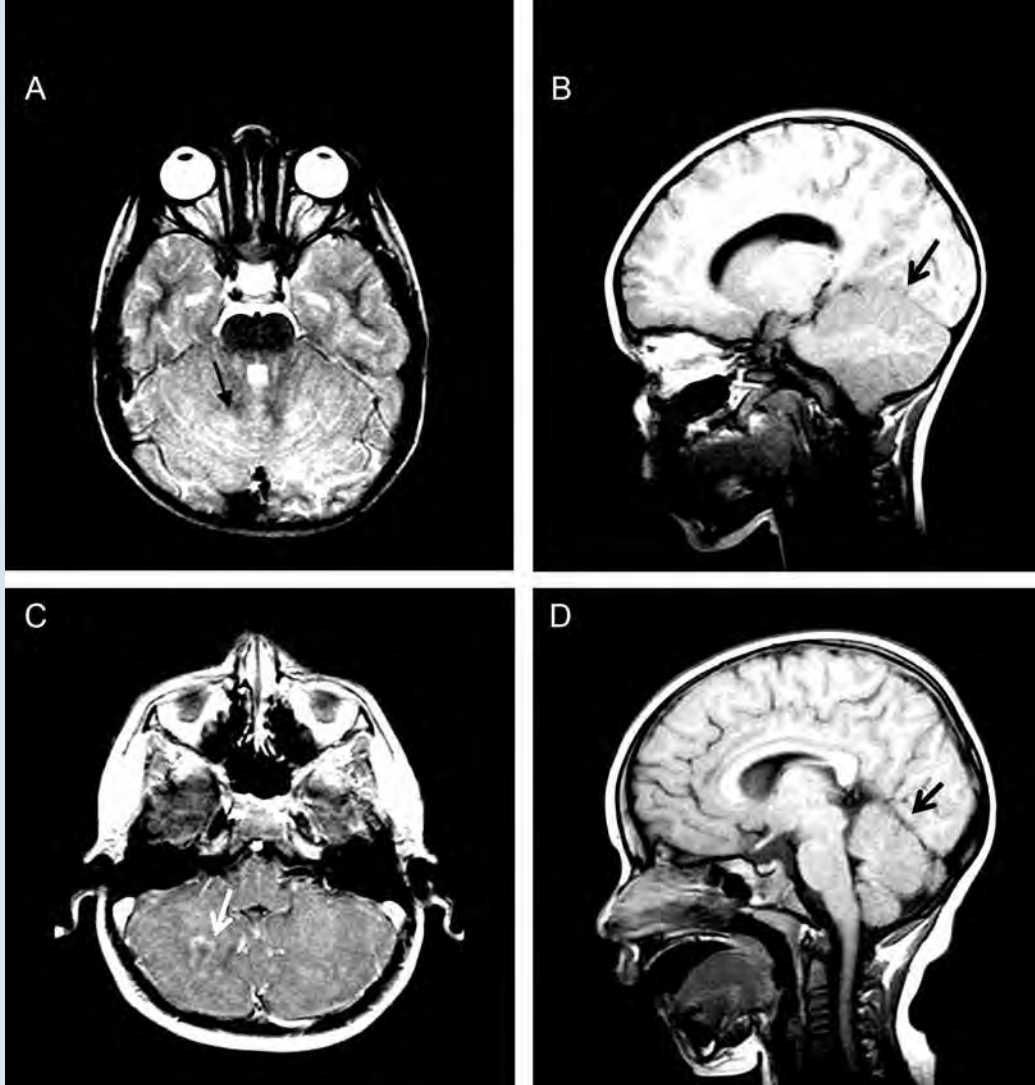
Fernández 1993, en reconocimiento al mérito por actividades de promoción y difusión de la energía nuclear. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) desde 1985 y actualmente ocupa el nivel III. También es Miembro Regular de la Academia Mexicana de Ciencias (antes Academia de la Investigación Científica), desde 1988. En 1990 fue nombrado Egresado Distinguido de la ESFM-IPN.

Ha publicado más de 130 artículos de investigación en revistas internacionales especializadas: 27 en revistas nacionales arbitradas, 140 en memorias de congresos y 16 libros. El reconocimiento internacional a su obra se refleja en más de mil citas a sus trabajos de investigación, algunos en forma sobresaliente. Además, ha sido responsable de más de quince proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, incluyendo proyectos de cooperación internacional y vinculación con la física médica. Hasta el momento ha dirigido diez tesis de doctorado, once de maestría, una de especialidad y trece de licenciatura, estando en proceso una tesis de doctorado, dos de maestría y una de licenciatura. Todas las tesis dirigidas por Juan Azorín han dado lugar a artículos científicos publicados en revistas internacionales.

Los investigadores formados por él se encuentran trabajando en centros de investigación de nuestro país y del extranjero. Los que se encuentran laborando en México, pertenecen al SNI en los niveles I y II.

Además de lo anterior, ha formado parte de diversos comités científicos dictaminadores y comisiones de evaluación de la comunidad científica a nivel nacional e internacional, como el Comité de Ingeniería del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para el periodo 2000-2003, entre otros. Preside el Comité Organizador del Simposio Internacional y del Congreso Nacional Sobre Dosimetría de Estado Sólido que se realiza anualmente desde 1987 en diferentes sedes, y en el que se tratan en forma destacada temas relacionados con la física médica.

Ha impulsado fuertemente la física médica en México, promoviendo en forma entusiasta la creación de la Especialización en Física Médica Clínica en la UAM-I y contribuyendo en forma destacada a la elaboración del plan de estudios y los programas de las unidades de enseñanza-aprendizaje, UEA, de la misma. Actualmente imparte algunas asignaturas en la mencionada especialización, la cual inició actividades en 2016.



Resonancia magnética funcional

Benito de Celis Alonso y Mario Iván Martínez Hernández
 Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la BUAP, Puebla, México

La resonancia magnética funcional (functional magnetic resonance, fMRI por sus siglas en inglés) es un área subtécnica de la resonancia magnética. Esta permite medir los cambios en las propiedades magnéticas de la sangre que se producen cuando el cerebro está realizando una actividad. Es una técnica relevante para este especial de física médica puesto que, tal como se explicará aquí, representa una aplicación de gran utilidad clínica e investigadora. Ha sido desarrollada íntegramente por físicos y, además de sus aplicaciones en distintos campos del conocimiento, representa un ejemplo de la interdisciplinariedad de la física médica.

El fundamento físico de la fMRI reside en las propiedades magnéticas de la sangre que porta el oxígeno: el combustible celular por excelencia. El transporte se realiza a través de las moléculas de hemoglobina; presente en las células rojas de la sangre. A éstas se les pegan

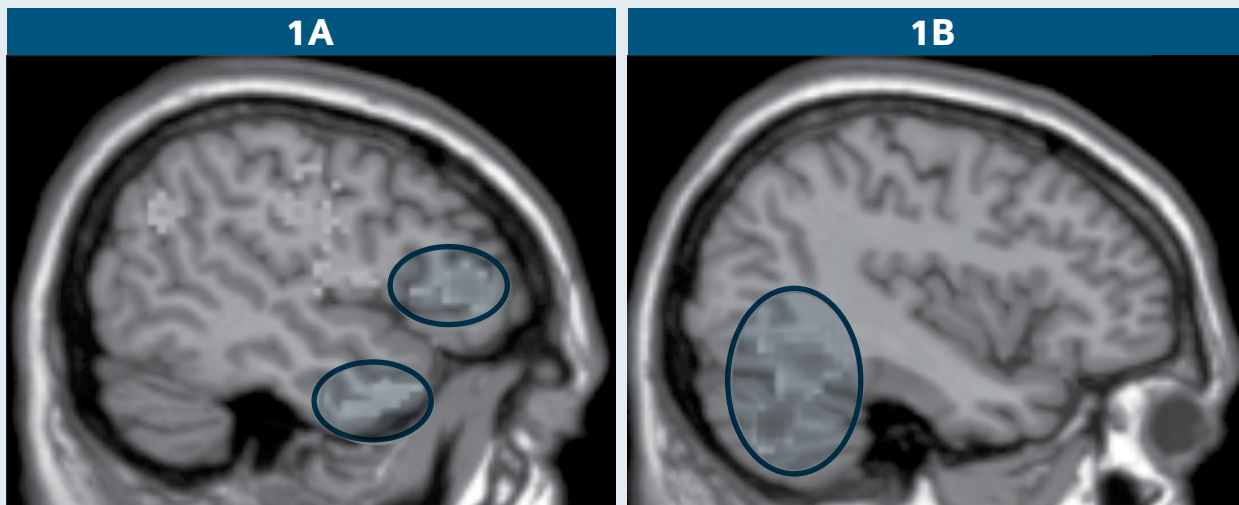


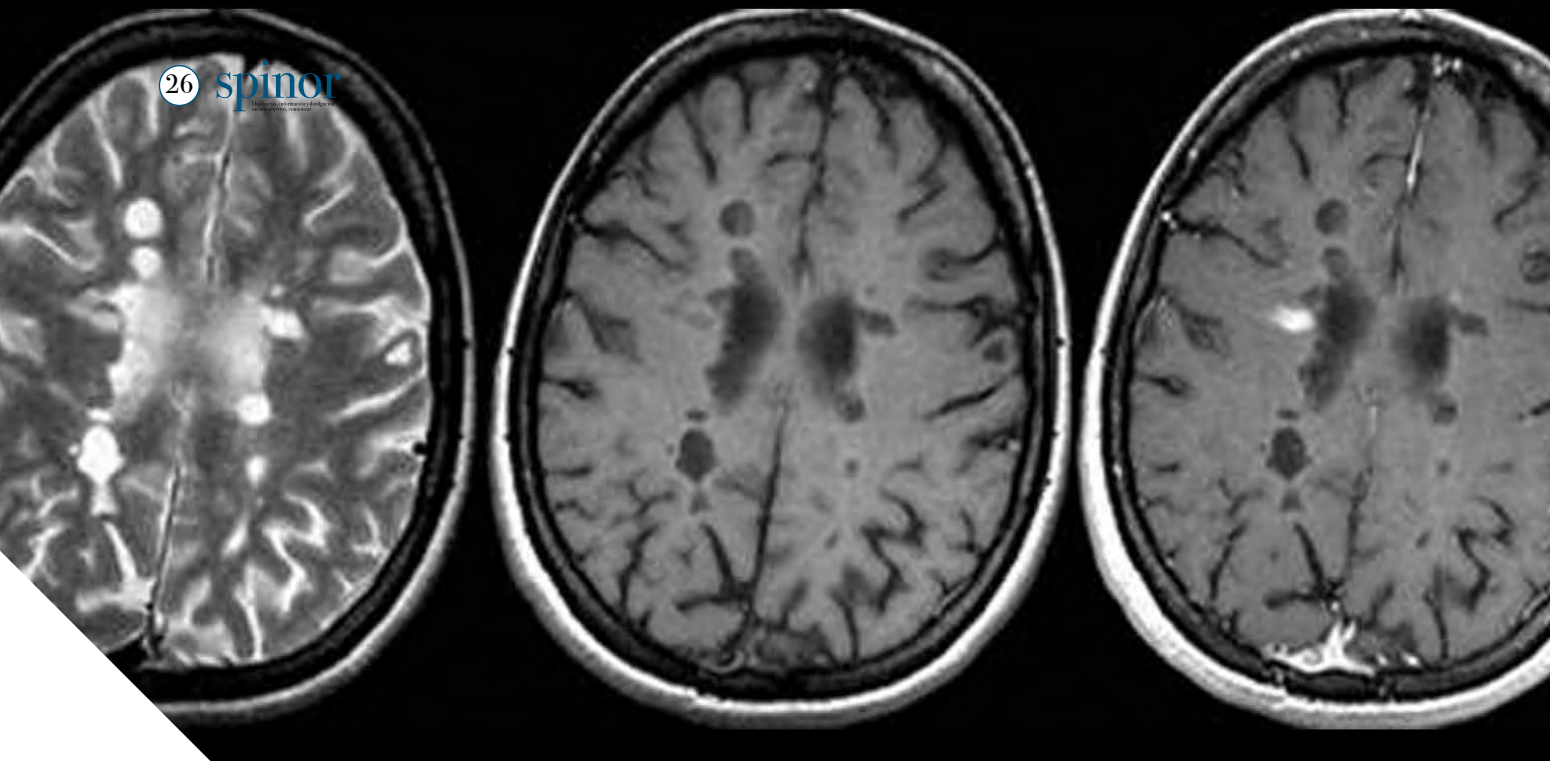
Figura 1. Imagen ejemplo de un estudio de resonancia magnética funcional.
 1A Regiones activadas para pacientes ciegos que escuchan música.
 1B, lo mismo que 1A pero en pacientes controles no ciegos.

químicamente las moléculas de oxígeno y una vez que alcanzan su lugar de uso se dejan, quedando las moléculas de hemoglobina desoxigenadas. Las propiedades magnéticas de las moléculas con y sin oxígeno varían, y si hay bastante cantidad pueden ser medidas con un aparato de resonancia magnética, tal como demostró Ogawa y colegas en 1990 [1]. Este artículo es actualmente uno de los más citados de la historia de la ciencia.

Esta técnica tiene muchas ventajas con respecto a otras técnicas de estudios en neurología y neurociencias. Primero, no es invasiva y no hace agujeros en el cerebro ni se introduce ningún agente externo al cuerpo. No usa radiaciones ni agentes de contraste externos, lo cual permite su reuso y la convierte en una técnica inofensiva para la salud. Además, es capaz de cubrir todo el cerebro, pudiendo medir activaciones en cualquier parte de éste; en contraste con otras técnicas como la electrofisiología o los electroencefalogramas que deben concentrarse en unas pocas neuronas o una región específica del córtex.

En especial, tiene muy buena resolución lo que permite indicar con gran precisión cual es la región que está activada. Como contraindicaciones tenemos que la respuesta hemodinámica es lenta. Desde el estímulo hasta que el flujo de sangre fresca aumenta pueden pasar periodos de tiempo de tan solo segundos. Además de la baja resolución temporal, la relación exacta entre actividad neuronal y sanguínea no se ha podido modelar hasta el momento. Probablemente y por su relevancia, el que lo haga recibirá un premio Nobel en Medicina por este descubrimiento. Sin embargo, la realidad es que actualmente no se sabe cuanta actividad neuro-

» Esta técnica tiene muchas ventajas con respecto a otras técnicas de estudios en neurología y neurociencias. Primero, no es invasiva y no hace agujeros en el cerebro ni se introduce ningún agente externo al cuerpo.



nal produce actividad sanguínea ni exactamente como se relacionan. Además de estas limitaciones, el análisis de estos datos no es trivial y necesita de un fuerte post-procesado de imagen médica que elimine ruido de las señales y prepare las imágenes para su análisis.

Pese a estas limitaciones es una técnica de gran aplicabilidad. A continuación, presentamos algunas que los psicólogos han usado como referencia para sus estudios. Estos distintos procesos mentales, emocionales o simplemente juegos son presentados al paciente dentro del escáner. En ellos el voluntario elige, siente, desea, juega, etcétera. El escáner indica las regiones que se involucraron en este proceso. Como las funciones de las regiones involucradas son conocidas ya desde hace tiempo (siglos incluso), se pueden construir todo tipo de teorías en cuanto al aprendizaje, el procesado normal o el patológico (por ejemplo, esquizofrénicos) de los pensamientos.

A nivel clínico los médicos deben usar esta tecnología para la planificación de sus operaciones. Al paciente se le hace que complete actividades básicas como movimiento, audición, visión de imágenes, lógica básica, etcétera. Con esta información se construye un mapa personalizado de las regiones del cerebro involucradas en todas estas actividades básicas. A nivel de investigación las empresas farmacéuticas usan esta tecnología todo el tiempo. Con esta técnica puede verse cómo distintos fármacos afectan la vasculatura y la función del cerebro siendo útil para indicar la recuperación tisular de una determinada región tras un trauma. Es más, se

pueden medir los cambios en actividad funcional y correlacionarlos con ciertas habilidades o directamente con el aprendizaje convirtiéndolo en un instrumento de investigación básico en temas de regeneración cortical y su fisiología. En neurociencias es uno de los equipos fundamentales y existen miles de aplicaciones en casi cualquier campo (veterinaria, nanopartículas, bioingeniería, educación, psiquiatría, enfermería, etcétera). Los autores han usado estas técnicas en el pasado para el estudio del aprendizaje [2] y para descubrir las regiones cerebrales sobre las que actúa la anestesia [3]. A nivel investigativo esta tecnología suele combinarse con otras técnicas como el EEG o la medicina nuclear para realizar estudios completos de función cerebral y su fisiología. Finalmente, de forma indirecta, los procesados de imágenes al ser tan complicados requieren de la colaboración de físicos, matemáticos y programadores para el desarrollo de métodos de análisis más completos y efectivos, que permitan realizar un mejor diagnóstico u obtener más información.

Referencia

- 1 Ogawa S., Lee T. M., Kay A. K. & Tank D. W. (1990). *Brain Magnetic Resonance Imaging with Contrast Dependent on Blood Oxygenation*, Proc. Natl. Acad. Sci. (USA), 87, 9868-9872
- 2 Albieri G., Barnes S. J., de Celis Alonso B., Cheetham C. E., Edwards C. E., Lowe A. S., Karunaratne H., Dear J. P., Lee K.C., Finnerty, G.T. (2014). *Rapid Bidirectional Reorganization of Cortical Microcircuits*. *Cereb Cortex*. 2014 May 16.
- 3 De Celis Alonso B., Metzger E., Sergejeva, M. & Hess A. (2009). A combination of fMRI and Granger causality methods to study the effects of anesthesia on brain functional connectivity. *Front. Neur. Conference Abstract: Neuroinformatics 2009*.



Por este medio, los invitamos a participar en la revista de divulgación científica *Spinor*, editada por la Dirección de Divulgación Científica de la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de nuestra universidad.

El principal objetivo de la revista es abrir un espacio para la difusión del quehacer científico en las diversas unidades académicas, así como reseñar el panorama científico histórico actual. Es por esto que los invitamos a escribir un artículo con carácter de divulgación

sobre sus actividades de investigación y someterlo para publicación.

A los interesados les pedimos envíen su artículo al correo electrónico de divulgación: **viep@correo.buap.mx**.

Esperamos su respuesta a esta invitación, para cualquier aclaración al respecto puede comunicarse con nosotros a la misma dirección de correo o al tel. 229.55.00 ext. 5729.

Atentamente
Dirección de Divulgación
Científica, VIEP.

Medicina Nuclear

Eduardo Moreno Barbosa y Benito de Celis Alonso
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, BUAP



La medicina nuclear (MN) tiene sus inicios en los años cincuenta, cuando se empezaron a utilizar radionúclidos (elementos radiactivos) con componentes farmacéuticos, lo que se conoce como radiofármacos. Estas sustancias son administradas al cuerpo de un paciente vía inyectable, ingesta o inhalación, con la finalidad de poder observar la actividad fisiológica. Estos radiofármacos después de un determinado tiempo se concentran en determinadas partes del cuerpo y en todo momento emiten fotones debido al elemento radiactivo usado, los cuales son detectados por sistemas complejos de adquisición para poder determinar la posición dentro del paciente. La medicina nuclear incluye un amplio rango de áreas involucradas (es un área multidisciplinaria) como: física, farmacia, biología, química, matemáticas, ciencias computacionales e ingenierías.

Esta área investigación y desarrollo se identifica más como una técnica para el diagnóstico que como un tratamiento. Entre las principales razones para el uso de la MN, se debe a que es una de las mejores herramientas para obtener información fun-

Figura 1. Gammagrafía ósea.
Recuperado de: <http://www.definicionabc.com/salud/gammagrama.php>.

cional. Existen una gran diversidad de radiofármacos o radiotrazadores para diferentes patologías, con lo que se puede tener un amplio rango de estudios en el área de medicina. Además, es una herramienta muy útil para observar la evolución de un paciente respecto a una enfermedad o a su recuperación en determinado tratamiento.

Hay tres modalidades dentro de la medicina nuclear: gammagrafía, tomografía computada por emisión de fotón único (SPECT por sus siglas en inglés), y tomografía por emisión de positrones (PET por sus siglas en inglés). En la primera técnica se utiliza un sistema de detección de radiación gamma (cámara Anger), produciendo una imagen bidimensional. Esta cámara consta de un elemento sensible a rayos gamma de alta energía (cristal con un número atómico grande), que al interactuar con el cristal produce luz en el rango visible; luz que es convertida posteriormente a una señal eléctrica (voltaje o corriente). Mediante estas señales se puede conocer el punto de interacción del rayo gamma en el cristal, dependiendo de la sensibilidad del detector y mediante la acumulación de los rayos gamma emitidos por el paciente. Después de determinado tiempo se obtendrá una imagen de donde está la concentración del radiofármaco dentro del cuerpo.

La tomografía por emisión de fotón único es una técnica de la medicina nuclear regularmente utilizada para análisis de enfermedades como son tiroides, riñón, vesícula biliar, huesos, corazón y cerebro, entre otros. Utilizando el principio de la cámara Anger, se requiere un sistema colimador (perforaciones paralelas o cónicas), el cuál permite "conducir" los fotones provenientes del radiofármaco para su estudio; del cristal centellador. Los elementos radiactivos más utilizados para generar los radiofármacos son tecnecio 99 (140 keV), indio 123 (159 keV).

Por último, el PET tiene el mismo principio de detección que en los dos métodos anteriores, salvo que los fotones a detectar son dos durante un intervalo de tiempo corto (decimas de nanosegundos), provenientes de la aniquilación del positrón con el electrón y que a diferencia del SPECT, no necesita un colimador. Por ello se tiene una mejor determinación en la posición de la acumulación del radiofármaco. Los emisores de positrones más comunes para estudios de la tomografía PET

son flúor 18 (18F), carbono 11, nitrógeno 13 y oxígeno 15; cada uno de ellos con diferentes características de vida media (tiempo), dependiendo de la finalidad del estudio. Por ejemplo, la fluorodeoxiglucosa es una molécula similar a la glucosa que utiliza 18F: uno de los radiofármacos mas utilizados para diagnóstico clínico.

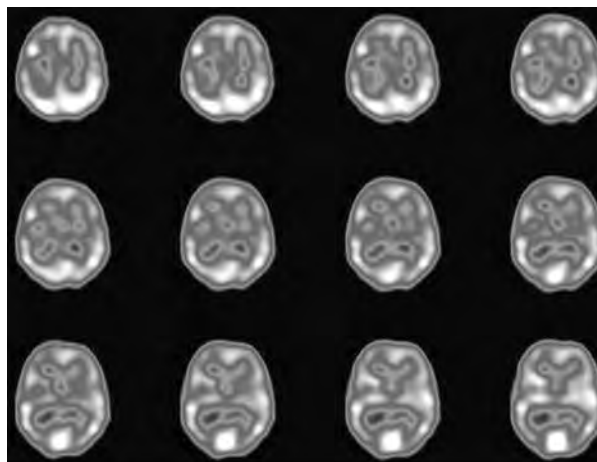


Figura 2. Tomografía por medio de emisión de fotón único para el estudio de perfusión cerebral. Recuperado de: http://www.imagenesotamendi.com.ar/medicina_nuclear/estudios.php.

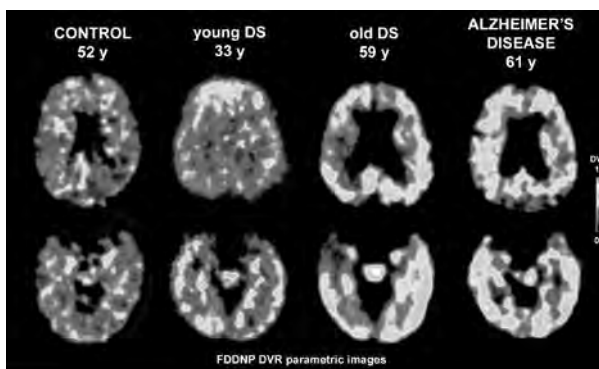


Figura 3. Estudio por medio de tomografía por emisión de positrones para investigación de enfermedades relacionadas con Alzheimer. Recuperado de: <https://www.alzheimeruniversal.eu/2015/10/15/diagnostico-alzheimer-recomendaciones-para-el-uso-del-estudio-pet-cerebral/>.

» La tomografía por emisión de fotón único es una técnica de la medicina nuclear regularmente utilizada para análisis de enfermedades como son tiroides, riñón, vesícula biliar, huesos, corazón y cerebro, entre otros.

XII

SEMANA DEL CEREBRO

**DEL 17 AL 21
ABRIL DE 2017**

**LUGAR: UNIDAD DE SEMINARIOS
DE CIUDAD UNIVERSITARIA**

.....
LAS CONFERENCIAS SERÁN A LAS
10 Y A LAS 11 HORAS
DOS CONFERENCIAS DIARIAS
.....

Inscribirse al correo electrónico:
carmen.cortes@correo.buap.mx
<https://www.facebook.com/semanadelcerebrobuap/>

ENTRADA LIBRE

LUNES 17

10:00 / Participación de los canales de calcio en la señalización nerviosa y en el dolor neuropático

Dr. Ricardo Félix Grijalva
CINVESTAV-IPN

11:00 / Las neuronas de la obesidad

Dr. Eduardo Monjaraz Guzmán
Instituto de Fisiología, BUAP

MARTES 18

10:00 / La química del amor

Dr. Raúl Paredes Guerrero
Instituto de Neurobiología, UNAM

11:00 / El cerebro y los límites de la libertad

Dra. Herminia Pasantes Ordóñez
Investigadora Emérita de la UNAM

MIÉRCOLES 19

10:00 / Rompiendo cables voy emergiendo: lesión nerviosa durante el parto

Dra. Yolanda Cruz Gómez
Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta, UAT.

11:00 / Hormonas y conducta sexual

Dr. Óscar González Flores
Centro de Investigación en Reproducción Animal, UAT.

JUEVES 20

10:00 / El cerebro y sus parásitos

Dr. José Luis Gándara
Facultad de Medicina BUAP

11:00 / Anatomía de un reloj

Dr. Alberto Manuel Ángeles Castellanos
Departamento de Anatomía, UNAM

VIERNES 21

10:00 / La hormona del sueño: la melatonina

Dra. Ma. del Carmen Cortés Sánchez
Instituto de Fisiología, BUAP

11:00 / El cerebro: centro del placer, la empatía y las adicciones

Dr. José Ramón Eguibar Cuenca
Instituto de Fisiología, BUAP



Sociedad Mexicana de
Ciencias Fisiológicas



SOCIETY for
NEUROSCIENCE

CAPÍTULO MÉXICO-CENTRO



Vicerección de Investigación
y Estudios de Posgrado