

continuo del pulmón y la ubicación sensible en estrecha proximidad a órganos vitales. Dada la falta de seguimiento a largo plazo y las series relativamente pequeñas estudiadas hasta la fecha, la SBRT sólo debe utilizarse en el contexto de ensayos clínicos hasta que se haya recogido más evidencia de su seguridad y eficacia. En todo caso, la SBRT parece a punto de convertirse en uno de los desarrollos más importantes en la larga historia de la lucha contra el cáncer.

#### CM04: Imagen molecular: radiofármacos monoméricos y multiméricos con reconocimiento por blancos moleculares específicos

G. Ferro-Flores\*

*Gerencia de Aplicaciones Nucleares en la Salud, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Toluca, Méx., México*

\* Autor para correspondencia:

Correo electrónico: guillermina.ferro@inin.gob.mx

**Imagen molecular:** Las técnicas de imagen molecular detectan y registran, directa o indirectamente, la distribución espacio-temporal de procesos moleculares o celulares para aplicaciones diagnósticas o terapéuticas. Los criterios de diseño aplicados en el desarrollo de radiofármacos de blancos moleculares específicos están dictados en gran medida por la expresión de proteínas blanco en los tejidos malignos, así como por la presencia intra o extracelular de dichas proteínas (receptores). Los receptores de péptidos reguladores están sobreexpresados en numerosas células de cáncer humano. Los radiopéptidos con reconocimiento por receptores (R) de péptidos asociados con el cáncer tales como los R de somatostatina, los R del péptido liberador de gastrina y las integrinas, se han utilizado con éxito en diversos estudios clínicos diagnósticos y terapéuticos. Las nanopartículas (NPs) pueden ser fluorescentes (ejemplo, NPs de oro, puntos cuánticos o nanotubos de carbono) o pueden tener propiedades magnéticas (ejemplo, NPs de óxido de hierro). Estas propiedades ópticas o magnéticas pueden ser explotadas para su uso en la terapia térmica y en la obtención de imágenes moleculares. Las NPs radiomarcadas funcionalizadas con péptidos (radiofármacos multiméricos) han demostrado tener propiedades adecuadas para el diagnóstico y la terapia de procesos malignos debido a su multivalencia.

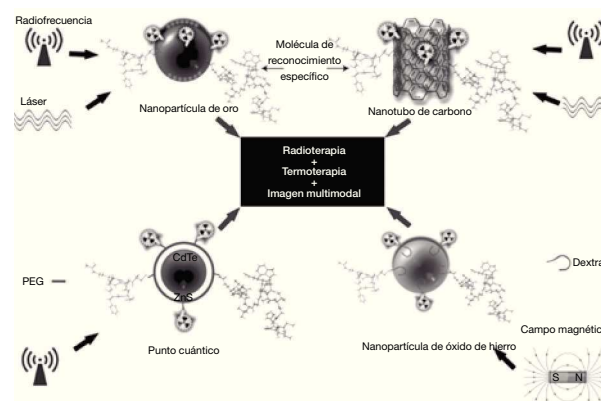
**NPs para imagen y terapia dirigida:** Al mismo tiempo que el interés en las terapias de blancos moleculares para cáncer aumenta, los radionúclidos destacan no sólo por su capacidad para ser detectados por gammagrafía externa, sino también por su capacidad terapéutica. La primera ventaja de las NPs radiomarcadas es el incremento de la afinidad, es decir, decenas de péptidos o cualquier molécula con actividad biológica se pueden conjugar a la superficie de un solo punto cuántico (QD), una sola nanopartícula metálica o un nanotubo de carbono de una pared simple (SWNT) para mejorar las imágenes de tumores con sobreexpresión de receptores específicos. En general, las diferentes técnicas de imagen son complementarias y no competitivas. Por

consiguiente, la segunda ventaja de las NPs radiomarcadas es la factibilidad de prepararlas con doble marcado (ejemplo, fluorescente y radiactivo), lo que permite la validación cruzada entre las imágenes nucleares y de fluorescencia óptica o incluso de imágenes trimodales nucleares-resonancia magnética-fluorescencia. El tercer beneficio está relacionado con sus propiedades termoablativas y radioterapéuticas. Las NPs de oro y los SWNT provocan destrucción celular térmica irreversible cuando se irradian con un láser. Las NPs de óxido de hierro liberan calor cuando se exponen a un campo magnético alterno externo, generando necrosis del microambiente en tejidos de cáncer. Las NPs de oro y los SWNT también absorben energía no ionizante cuando se exponen a un campo de radiofrecuencia (RF) con la consecuente liberación de calor para destruir células malignas. La RF también induce citotoxicidad térmica en células de cáncer tratadas con QDs. El aumento de la respuesta terapéutica requiere la aplicación de terapias combinadas. Por lo tanto, las NPs de oro, SWNT, QDs o las NPs de óxido de hierro radiomarcadas con emisores de partículas beta, pueden funcionar simultáneamente como agentes de imagen, sistemas de radioterapia y sistemas de termoterapia (fig. 1).

#### Agradecimientos

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-SEP-CB-2010-01-150942).

**Figura 1** Nanopartículas radiomarcadas multifuncionales como agentes útiles para la terapia dirigida y diagnóstico médico, debido a su combinación única de propiedades radiactivas, ópticas y termoablativas.



#### CM06: La dosimetría de estado sólido aplicada en física médica

J. Azorín-Nieto\*

*Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México D.F., México*

\* Autor para correspondencia:

Correo electrónico: azorin@xanum.uam.mx

Los detectores de estado sólido han sido utilizados con éxito en física médica, tanto en radiodiagnóstico y radioterapia como en medicina nuclear para llevar a cabo el control de calidad de los procesos y la dosimetría de los pacientes (*in vivo* o en fantoma) y del personal ocupacionalmente expuesto, debido a que tienen una alta sensibilidad en un pequeño volumen, la mayoría de ellos no requieren conexión eléctrica y tienen características dosimétricas de interés, tales como: una buena precisión y reproducibilidad, así como una respuesta independiente de la energía de la radiación, algunos de ellos. Por esta razón, la selección de un detector apropiado para su uso en física médica debe tener en cuenta el coeficiente másico de absorción de energía con respecto al agua para fuentes de fotones y el poder de frenamiento másico relativo al agua para los emisores beta y los haces de electrones en el intervalo de energía de interés en física médica, así como el número atómico efectivo de los materiales que las constituyen. En esta plática se analizan las características de los dosímetros de estado sólido más adecuados para su uso en física médica, tales como MOSFETs, detectores de EPR, películas radiocrómicas, centelleadores plásticos y dosímetros de termoluminiscencia, destacando las ventajas y desventajas de cada uno.

### CM08: Resta de imágenes mamográficas con medio de contraste: ¿hacia una mamografía funcional?

M. E. Brandan<sup>a,\*</sup>, J. P. Cruz-Bastida<sup>a</sup>, I. Rosado-Méndez<sup>a</sup>, H. Pérez-Ponce<sup>a</sup>, Y. Villaseñor<sup>b</sup>, H. A. Galván<sup>b</sup>, L. Benítez-Briebesca<sup>c</sup>, P. García<sup>c</sup> y F. E. Trujillo-Zamudio<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México

<sup>b</sup>Instituto Nacional de Cancerología, México D.F., México

<sup>c</sup>Hospital de Oncología, Centro Médico Nacional SXXI, México D.F., México

<sup>d</sup>Hospital Regional de Alta Especialidad, Oaxaca, Oax., México

\* Autor para correspondencia:

Correo electrónico: brandan@fisica.unam.mx

**Introducción:** La resta de imágenes mamográficas con medio de contraste (MC) es una técnica orientada a eliminar el fondo anatómico gracias a la sustracción de 2 imágenes. El resultado es el aumento de la visibilidad del MC, presente en la lesión debido a angiogénesis. Existen 2 maneras de aplicar la técnica: resta con energía-dual (DE) y resta temporal de energía única (SET). En la primera se adquieren 2 imágenes del mismo objeto con espectros diferentes de rayos X y se restan usando un factor de peso. Los espectros de baja (LE) y alta (HE) energía deben ser diferentes, y se aprovecha el borde fotoeléctrico del yodo a 33.2 keV. La modalidad SET requiere de un solo espectro y hace un seguimiento de la captación del MC por la lesión. Nuestro grupo ha propuesto una combinación, llamada resta temporal de energía-dual (DET), que ha sido validada por datos de un maniquí homogéneo.

Recientemente hemos presentado un formalismo para resta temporal de energía-dual que se basa en un factor de peso obtenido pixel-a-pixel de las imágenes máscaras (previas a la administración del MC) de LE y HE. Esta resta se

llama DETm (temporal de energía-dual con matriz). El DETm ha mostrado lograr acuerdo cuantitativo entre SET y DET en estudios de maniquí y un clínico piloto.

Los objetivos de este trabajo son realizar restas DETm de imágenes clínicas y compararlas con el SET tradicional. Biopsias de las pacientes se analizarán con anticuerpos específicos para formación de nuevos vasos sanguíneos y linfáticos, y se analizará la posible correlación entre indicadores de imagen y de biopsia.

**Métodos:** Diecinueve pacientes BIRADS 4-5 se incluyeron en un estudio clínico aprobado por los Comités de Investigación y de Ética del Instituto Nacional de Cancerología (INCan) en México D.F.

Las imágenes máscara se adquirieron con espectros LE y HE de un Senographe DS. Se inyectó mecánicamente medio de contraste basado en yodo y las imágenes MC a alta energía se adquirieron entre uno y 5 minutos después de la inyección del MC. Todas las imágenes se adquirieron bajo una misma compresión. Se obtuvieron biopsias después de las imágenes y se aplicaron biomarcadores para angiogénesis sanguínea y linfática. La densidad de microvasos se evaluó en campos de microscopio.

Para DET, la máscara LE se restó de las imágenes MC pesadas por una matriz obtenida de las máscaras. Para SET, la máscara HE se restó de la serie HE.

La captación de yodo en la serie de imágenes restadas se cuantificó y se evaluó el contraste (diferencia normalizada de señales entre la lesión y el tejido glandular normal) en regiones de interés definidas por el radiólogo. El contraste se transformó en grosor másico de yodo usando una función (lineal) de calibración obtenida usando muestras con una concentración conocida de yodo. Curvas de contraste-tiempo indican el cambio temporal del contraste.

**Resultados:** Once lesiones fueron malignas y 8, benignas. El formalismo de resta redujo sustancialmente el ruido anatómico en las imágenes resultantes, comparado con técnicas alternativas. Las densidades de microvasos sanguíneos y linfáticos mostraron una buena correlación, y se observaron mayores densidades en lesiones malignas que benignas. Las imágenes restadas mostraron aspectos que podrían ayudar al diagnóstico, en particular como indicadores de agresividad tumoral. Limitaciones previamente señaladas en la modalidad DE desaparecen al usar el formalismo matricial. Ambas modalidades temporales parecen ser equivalentes; sin embargo, el movimiento de la paciente (y la dosis) harían preferir SET. Las imágenes fueron calibradas y la captación de yodo no se correlacionó ni con la patología ni con la densidad de microvasos. Las curvas de contraste-tiempo se parecen a las de resonancia magnética de contraste enfatizado, pero aún se requiere más análisis para evaluar su posible valor como indicadores de diagnóstico.

### Agradecimientos

Agradecemos al Departamento de Rayos X del INCan y a los proyectos DGAPA IN-105813 y Conacyt Salud 2009-01-112374.

### CM09: Protección radiológica del paciente en tomografía pediátrica

J. García-A.\*