

José María Yturralde. Serie *Eclipse*, 2006. Acrílico sobre lienzo, 41x41 cm.

A LA CAZA DEL FOTÓN

DETECTORES DE PARTÍCULAS EN IMAGEN MÉDICA

Carlos Lacasta

Hunting the Photon. Particle Detectors in Medical Imaging.

Nuclear and particle physicists have always worked hard to develop particle detectors to measure the fundamental properties of matter. Particle detectors also play a fundamental role in medical imaging since they enable the invisible to be made visible by means of invisible radiation. Since the early times of nuclear medicine and medical imaging, there has always been a synergy between the two worlds. In fact, many of the sensors and devices that are used in nuclear medicine have their origin in Nuclear or Particle Physics.

En su afán por investigar la estructura de la materia los físicos nucleares y de partículas han dedicado esfuerzos considerables a desarrollar aparatos capaces de detectar las partículas y de medir sus propiedades fundamentales. De manera bastante natural ha habido, y sigue habiendo, una gran sinergia entre estas disciplinas y la imagen médica que también necesita de detectores. De hecho, muchos de los instrumentos que se emplean hoy en día en medicina nuclear tienen sus orígenes en laboratorios de física nuclear y de partículas.

Los detectores de partículas juegan un papel central en el campo de la imagen médica, puesto que permiten obtener imágenes, de forma no invasiva, de diferentes partes del cuerpo (imagen estructural) así como de determinadas funciones metabólicas (imagen funcional). En ambos casos la clave para obtener unas prestaciones óptimas está en la habilidad de detectar la presencia, o ausencia, de los fotones emitidos por los isótopos del radiotrazador, en el caso de la imagen funcional, o por los cañones de rayos X, en el caso de imagen estructural. En cualquier caso, el rango de energías de estos fotones va desde unas decenas de keV hasta los 512 keV. Dentro de las aplicaciones en el campo de la imagen médica se pueden identificar dos grandes categorías: detección y estimación. La detección nos dirá si hay algo presente y dónde, mientras que la estimación debe decir cuánto hay presente. En consecuencia, hay dos parámetros fun-

damentales en un detector de fotones para que pueda ser empleado con éxito en imagen médica. Por un lado, es de vital importancia ser eficiente a la hora de determinar la presencia de fotones si queremos reducir al máximo la exposición del paciente a la radiación para minimizar el daño que se pueda producir en los tejidos sanos y, por otro, necesitamos determinar, con la mejor precisión posible, de dónde vienen estas partículas.

Cuando un fotón atraviesa la materia interacciona con los átomos de diferentes maneras, como se muestra en la figura 1 de la página siguiente. Cada uno de estos procesos tiene una cierta probabilidad de que ocurra y esta probabilidad, a su vez, depende de la energía del fotón, del material y de la cantidad de éste que es atravesada por el fotón. Cuanto más material, más alta es la probabilidad de interacción. Así mismo, los materiales con un mayor número atómico, es decir, con más protones en el núcleo, también proporcionan una mayor probabilidad de interacción. El siguiente parámetro en importancia, después de la sensibilidad, es el de la resolución espacial, esto es, la capacidad de determinar con gran precisión el lugar de procedencia del fotón. Esto hace que los detectores se diseñen con un muy alto grado de segmentación.

Según el tipo de proceso mediante el que se produzca la interacción, el fotón transferirá toda o parte de su energía al material. Esta energía se puede registrar de diversas formas dependiendo del material del detector.

«MUCHOS DE LOS INSTRUMENTOS QUE SE EMPLEAN HOY EN DÍA EN MEDICINA NUCLEAR TIENEN SUS ORÍGENES EN LABORATORIOS DE FÍSICA NUCLEAR Y DE PARTÍCULAS»

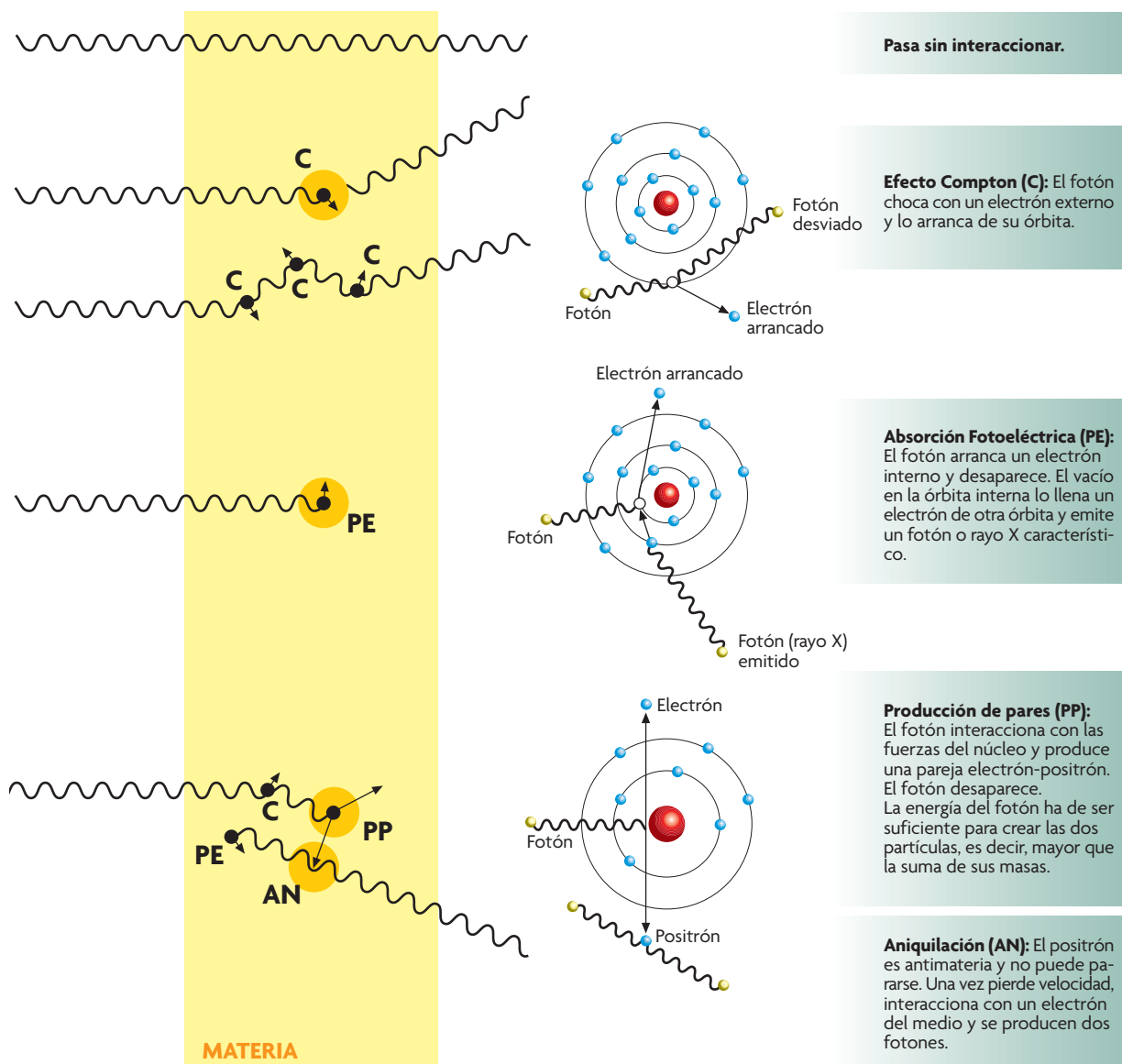


Figura 1. Tipos de interacción de un fotón con el material que atraviesa. Estas interacciones dependen de la energía del fotón, el tipo de material y la cantidad de éste que es atravesada.

Los detectores de centelleo, por ejemplo, están formados por materiales que emiten luz visible cada vez que una partícula les transfiere energía. La intensidad de dicha luz, que convertimos en un pulso eléctrico mediante unos aparatos llamados fotomultiplicadores, es la que nos da una idea de la energía. Esto es lo que se conoce como detección indirecta, puesto que necesitamos de un dispositivo intermedio para convertir la señal del detector en un pulso eléctrico. En la gran mayoría de los detectores formados por materiales semiconductores o gaseosos la energía se emplea en ionizar el medio produciendo pares de portadores de carga que se mueven bajo el efecto de un campo eléctrico. El movimiento de

dichas cargas induce una señal eléctrica en los electrodos que nos da una medida de la energía depositada por el fotón. Esto es lo que se llama detección directa, pues el detector proporciona directamente el pulso eléctrico. La energía, tiempo y posición que obtenemos como resultado de las interacciones de los fotones con la materia nos proporcionan la información necesaria para reconstruir las imágenes médicas. Así pues, para obtener unos resultados óptimos es de vital importancia la elección de un material adecuado para el detector, dado que determina la eficiencia y resolución de nuestras medidas.

Tan importante como el material que detecta el paso de la partícula es la electrónica que lee los pulsos eléc-

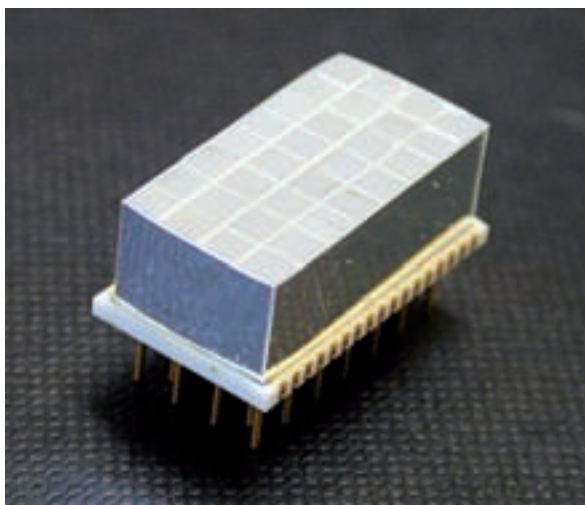
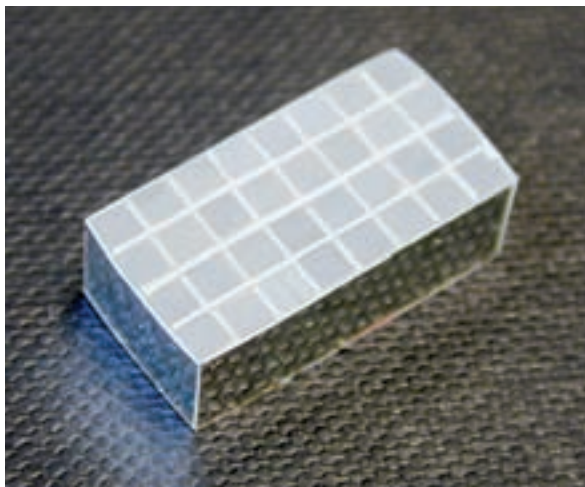
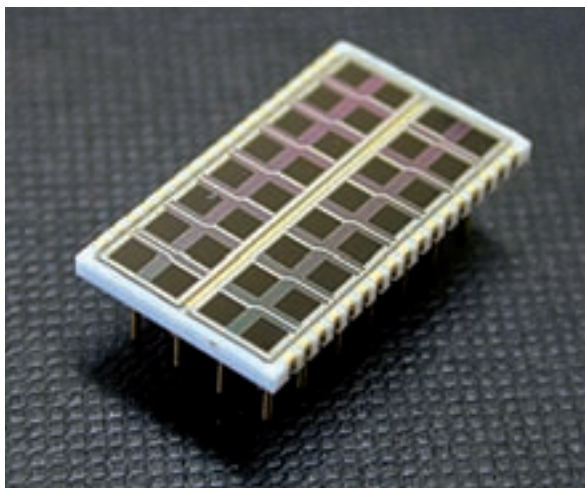


Figura 2. En el campo de la imagen médica se están investigando nuevos materiales para conseguir un diseño más compacto de los detectores y optimizar la resolución espacial. Ejemplo de un vidrio centelleador segmentado (arriba), una matriz de fotodiodos de avalancha (en medio) y el conjunto acoplado (debajo).

tricos que se generan en dicho material como consecuencia del paso de la partícula y la forma en la que conectamos los detectores a esta electrónica de lectura. Esto constituye el último paso en el proceso de detección y determina, en gran manera, la precisión y la utilidad de la información que se genera en los detectores.

La mayoría de los aparatos utilizados en la actualidad en física médica emplean detectores de centelleo y, con el fin de obtener las prestaciones que se le exige al campo de la imagen médica, se investigan tanto nuevos materiales centelleadores que incrementen la sensibilidad como nuevos tipos de fotomultiplicadores, por ejemplo fotomultiplicadores de silicio o fotodiodos de avalancha, que por un lado hagan el diseño de los detectores más compacto y, por otro, optimicen la resolución espacial (figura 2).

También se investigan nuevos materiales que eviten el uso de fotomultiplicadores o que faciliten la segmentación para obtener la granularidad necesaria para obtener una buena resolución espacial. Ejemplos de dichos materiales son el silicio, el telurio de cadmio y zinc, el yoduro de mercurio, el yoduro de plomo o el bromuro de talio. Esto es particularmente necesario en el caso de aparatos para imagen estructural.

El alto grado de segmentación necesario para obtener imágenes con una buena resolución hace que la conectividad entre el detector y su electrónica juegue también un papel fundamental en el diseño de los detectores. En este sentido se buscan materiales que se puedan depositar sobre la electrónica, o bien tecnologías de conexión que resulten en estructuras compactas, como las conexiones en tres dimensiones en las que los diferentes componentes se disponen en capas verticales que se conectan entre sí mediante finísimos tubos conductores.

Es evidente, tras este breve repaso de las funciones de los detectores en la disciplina de la imagen médica, que éste es un campo multidisciplinario que necesita de los últimos avances técnicos en cada una de sus facetas, desde los métodos estadísticos para reconstruir las imágenes a partir de los datos hasta los *productores* de datos: los detectores. Muchas de estas técnicas se heredan de otras disciplinas, como por ejemplo la física nuclear y de partículas, aunque, eso sí, con las correspondientes adaptaciones: un aparato no se diseña igual para detectar fotones por debajo de los 512 keV, como es nuestro caso, que para detectar los fotones con energías del orden de varios GeV, como es el caso de la física de partículas. ☺

Carlos Lacasta. Institut de Física Corpuscular (IFIC), Centro mixto CSIC – Universitat de València.