

José María Yturralde. Sèrie *Eclipsi*, 2006. Acrílic sobre llenç, 41x41 cm.

A LA CAÇA DEL FOTÓ

DETECTORS DE PARTÍCULES EN IMATGE MÈDICA

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 el seu afany per investigar l'estructura de la matèria, els físics nuclears i de partícules han dedicat esforços considerables a desenvolupar aparells capaços de detectar les partícules i de mesurar-ne les propietats fonamentals. De manera bastant natural hi ha hagut, i continua havent-hi, una gran sinergia entre aquestes disciplines i la imatge mèdica que també necessita detectors. De fet, molts dels instruments que s'empren avui dia en medicina nuclear tenen origen en laboratoris de física nuclear i de partícules.

Els detectors de partícules representen un paper central en el camp de la imatge mèdica, ja que permeten obtenir imatges, de manera no invasiva, de diferents parts del cos (imatge estructural), com també de determinades funcions metabòliques (imatge funcional). En ambdós casos la clau per a obtenir unes prestacions òptimes està en l'habilitat de detectar la presència, o absència, dels fotons emesos pels isòtops del radiotracador, en el cas de la imatge funcional, o pels canons de raigs X en el cas d'imatge estructural. En tot cas, el rang d'energies d'aquests fotons va des d'unes desenes de keV fins als 512 keV. Dins de les aplicacions al camp de la imatge mèdica es poden identificar dos grans categories: detecció i estimació. La detecció ens dirà si hi ha alguna cosa present i on, mentre que l'estimació ha de dir quant hi ha present. En conseqüència, hi ha dos paràmetres fonamentals en un detector de fotons perquè pugui ser utilitzat amb èxit en imatge mèdica. D'una banda, és de vital importància ser eficient a l'hora de determinar la presència de fotons si volem reduir al màxim l'exposició del pacient a la radiació per a mini-

mitzar el dany que es pugui produir en els teixits sans i, d'una altra, necessitem determinar, amb la millor precisió possible, d'on vénen aquestes partícules.

Quan un fotó travessa la matèria, interacciona amb els àtoms de diferents maneres, com es veu a la figura 1. Cada un d'aquests processos té una certa probabilitat que ocorregui i aquesta probabilitat, al seu torn, depèn de l'energia del fotó, del material i de la quantitat d'aquest que és travessada pel fotó. Com més material, més alta és la probabilitat d'interacció. Així mateix, els materials amb un nombre atòmic més gran, és a dir, amb més protons en el nucli, també proporcionen major probabilitat d'interacció. El següent paràmetre en importància, després de la sensibilitat, és el de la resolució espacial, és a dir, la capacitat de determinar amb gran precisió el lloc de procedència del fotó. Això fa que els detectors es dissenyen amb un molt alt grau de segmentació.

Segons el tipus de procés mitjançant el qual es produeix la interacció, el fotó transferirà tota o part de la seua energia al material. Aquesta energia es pot enregistrar de diverses maneres depenent del material del detector. Els detectors de centelleig, per exemple, estan formats per materials que emeten llum visible cada vegada que una partícula els transfereix energia. La intensitat de la dita llum, que convertim en un pols elèctric mitjançant uns aparells anomenats fotomultiplicadors, és la que ens dona una idea de l'energia. Això és el que es coneix com a detecció indirecta, ja que necessitem un dispositiu intermediari per convertir el senyal del detector en un pols elèctric. En la

**«MOLTS DELS INSTRUMENTS
QUE S'UTILITZEN AVUI DIA
EN MEDICINA NUCLEAR
TENEN ORIGEN EN
LABORATORIS DE FÍSICA
NUCLEAR I DE PARTÍCULES»**

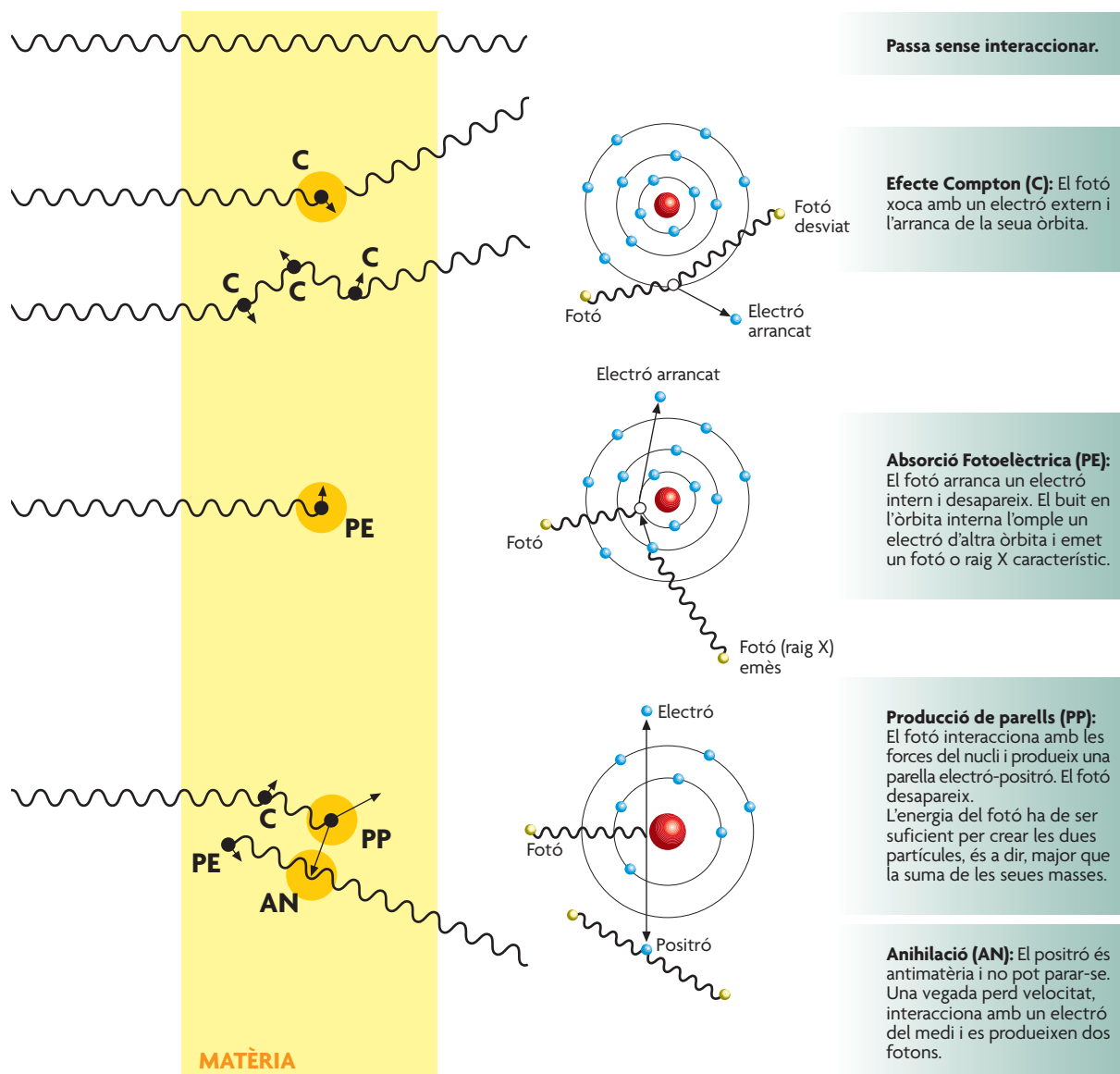


Figura 1. Tipus d'interacció d'un fotó amb el material que travessa que depenen de l'energia del fotó, el tipus de material i la quantitat d'aquest que és travessat.

gran majoria dels detectors formats per materials semiconductors o gasosos l'energia s'esmerça a ionitzar el medi produint parells de portadors de càrrega que es mouen sota l'efecte d'un camp elèctric. El moviment d'aquestes càrregues induïx un senyal elèctric en els elèctrodes que ens dóna una mesura de l'energia dipositada pel fotó. Això és el que s'anomena detecció directa, perquè el detector proporciona directament el pols elèctric. L'energia, temps i posició que obtenim com a resultat de les interaccions dels fotons amb la matèria ens proporcionen la informació necessària per a reconstruir les imatges mèdiques. Així, doncs, per a obtenir uns resultats òptims és de vital importància l'elecció d'un mate-

rial adequat per al detector, atès que determina l'eficiència i resolució de les nostres mesures.

Tan important com el material que detecta el pas de la partícula és l'electrònica que llegeix els polsos elèctrics que es generen en el dit material com a conseqüència del pas de la partícula i la forma en què connectem els detectors a aquesta electrònica de lectura. Això constitueix l'últim pas en el procés de detecció i determina, en gran manera, la precisió i la utilitat de la informació que es genera en els detectors.

La majoria dels aparells utilitzats en l'actualitat en física mèdica fan servir detectors de centelleig i, a fi d'obtenir les prestacions que se li exigeix al camp de la

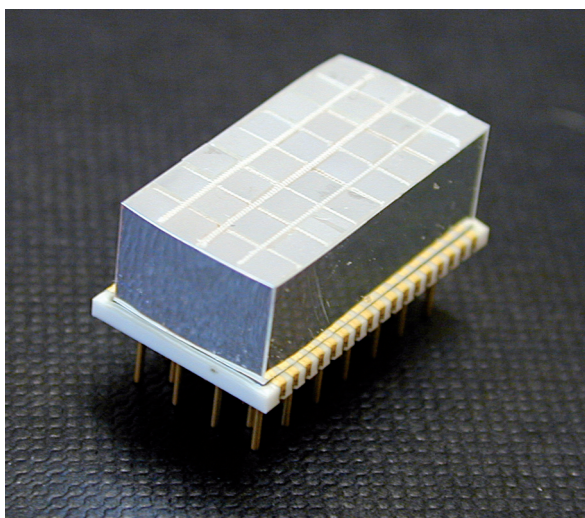
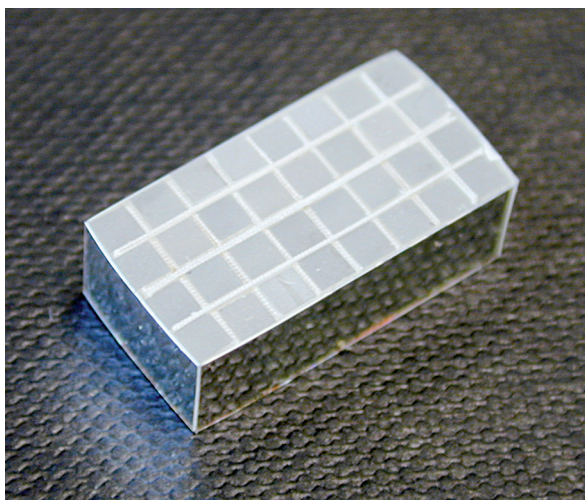
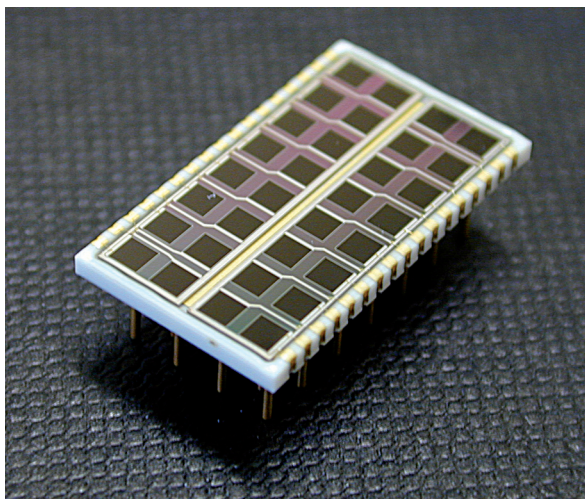


Figura 2. Al camp de la imatge mèdica s'estan investigant nous materials per a aconseguir un disseny més compacte dels detectors i optimitzar la resolució espacial. Exemple d'un vidre centellejador segmentat (dalt), una matriu de fotodíodes d'allau (enmig) i el conjunt acablat (a sota).

imatge mèdica, s'investiguen tant nous materials centellejadors que incrementen la sensibilitat com nous tipus de fotomultiplicadors, per exemple fotomultiplicadors de silici o fotodíodes d'allau, que d'un costat fan el disseny dels detectors més compacte i, d'un altre, optimitzen la resolució espacial (figura 2).

També s'investiguen nous materials que eviten l'ús de fotomultiplicadors o que faciliten la segmentació per a obtenir la granularitat necessària per a obtenir una bona resolució espacial. Exemples d'aquests materials són el silici, el tel·lur de cadmi i zinc, el iodur de mercuri, el iodur de plom o el bromur de tal·li. Això és particularment necessari en el cas d'aparells per a imatge estructural.

L'alt grau de segmentació necessari per a obtenir imatges amb una bona resolució fa que la connectivitat entre el detector i la seua electrònica represente també un paper fonamental en el disseny dels detectors. En aquest sentit se cerquen materials que es puguin dipositar sobre l'electrònica, o bé tecnologies de connexió que resulten en estructures compactes, com les conne-

**«L'ENERGIA, TEMPS I POSICIÓ
QUE OBTENIM COM A RESULTAT
DE LES INTERACCIONS DELS FOTONS
AMB LA MATÈRIA ENS PROPORCIONEN
LA INFORMACIÓ NECESSÀRIA PER
A RECONSTRUIR LES IMATGES MÈDIQUES»**

xions en tres dimensions en què els diferents components es disposen en capes verticals que es connecten entre si mitjançant finíssims tubs conductors.

És evident, després d'aquest breu repàs de les funcions dels detectors en la disciplina de la imatge mèdica, que aquest és un camp multidisciplinari que necessita dels últims avenços tècnics en cada una de les facetes, des dels mètodes estadístics per a reconstruir les imatges a partir de les dades fins als *productors* de dades: els detectors. Moltes d'aquestes tècniques s'hereten d'altres disciplines, com per exemple la física nuclear i de partícules, encara que, això sí, amb les corresponents adaptacions: un aparell no es dissenya igual per a detectar fotons per sota dels 512 keV, com és el nostre cas, que per a detectar els fotons amb energies de l'ordre de diversos GeV, com és el cas de la física de partícules. ☺

Carlos Lacasta. Institut de Física Corpuscular (IFIC), Centre mixt CSIC – Universitat de València.