

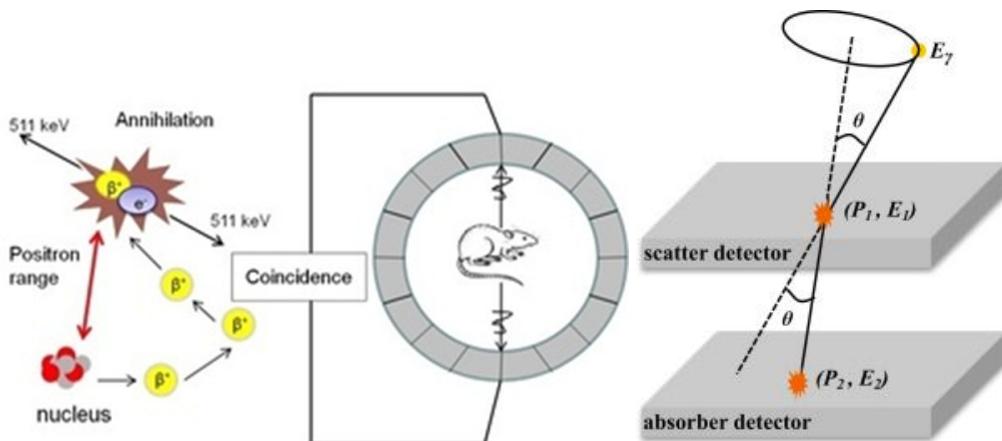
## Práctica de Laboratorio

### Imagen gamma: PET y Compton

Tutores: Jorge Lerendegui y Ion Ladarescu

*El objetivo de esta práctica es introducir al alumno a las técnicas de imagen gamma como son la técnica PET y el método de imagen Compton. Para ello se utilizará un sistema de detección consistente en dos planos de detectores gamma sensibles a la posición operados en coincidencia temporal.*

Entre los sistemas de detección de radiación gamma, algunos no solo permiten hacer espectrometría, es decir, determinar la energía de los gammas incidentes, sino que también permiten hacer reconstruir su punto de emisión, lo que se conoce como imagen gamma.



*Figura 1.- Esquemas de los principios básicos de funcionamiento de las técnicas PET (izquierda) y Compton (derecha)*

La primer técnica gamma que introduciremos en la práctica será la imagen Compton, que explota la dispersión Compton del gamma incidente en el *scatterer detector* y su posterior fotoabsorción en el *absorber detector* para determinar el punto de emisión del gamma incidente (ver Figura 1). Conocidas la energía depositada ( $E_1$  y  $E_2$ ) y el punto de interacción ( $P_1$ ,  $P_2$ ) en ambos planos de detección, el ángulo de incidencia del gamma se determina a partir de la fórmula de la dispersión Compton:

$$\cos \theta = 1 + \frac{511}{E_g} - \frac{511}{E_2}$$

donde  $E_g$ , que se asume igual a  $E_1 + E_2$ , es la energía inicial del gamma. La incertidumbre en la determinación del ángulo Compton se puede derivar analíticamente

$$\delta\theta = \frac{1}{\sin\theta} \left( \left( \frac{m_e c^2}{E'^2} \right)^2 \left( \frac{\delta E'}{E'} \right)^2 + 2 \sin^2 \theta \left( \frac{\delta r}{r} \right)^2 \right)^{1/2},$$

donde  $\delta r/r$  representa la incertidumbre en la determinación de la posición de interacción en ambos planos de detección y  $\delta E'/E'$  la resolución en energía de nuestros detectores.

La segunda técnica de imagen que estudiaremos en esta práctica será el método PET (acrónimo en inglés de tomografía por emisión de positrones). El método *PET* consiste en medir en coincidencia los dos fotones de 511 keV que se emiten en direcciones opuestas ( $180^\circ$ ) tras la aniquilación de un positrón. Esta técnica es conocida por su uso en el campo de la imagen médica, donde un isótopo emisor  $\beta^+$  se inyecta como trazador en el paciente y cada par de fotones emitidos se detectan en cristales situados en un paciente que rodea al paciente (ver Figura 1).

## Bibliografía

### Detectores de gammas sensibles a la posición

- V. Babiano et al.,  *$\gamma$ -Ray position reconstruction in large monolithic  $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$  crystals with SiPM readout*, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, Volume **931**, 1-22. (2019)

arXiv: <https://arxiv.org/abs/1811.05469>

### PET:

- J.J. Vaquero & P. Kinahan, *Positron Emission Tomography: Current Challenges and Opportunities for Technological Advances in Clinical and Preclinical Imaging Systems*, Annu Rev Biomed Eng. **17**, 385–414 (2015)

doi: [10.1146/annurev-bioeng-071114-040723](https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071114-040723)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5299095/>

### Imagen Compton:

- D. B. Everett, J. S. Fleming, R.W.Todd, J. M. Nightingale, Proc. IEEE **124**, 995 (1977)
- L. Mihailescu, K.M. Vetter, M.T. Burks, E.L. Hull, and W.W. Craig. *Speir: A ge compton camera*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, Volume **570** (1), 89 - 100 (2007)

- V. Babiano et al., *i-TED: a Compton imager with Dynamic Electronic Collimation*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, Volume **953**, 163228 (2020)  
Author shareable link: <https://authors.elsevier.com/a/1aCljcPqbaEW>

## General de instrumentación nuclear

- Glenn F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, 4th Edition, Wiley & Sons, 2010
- William R. Leo, *Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments: A How-To Approach*, Springer, 1994

## Materiales

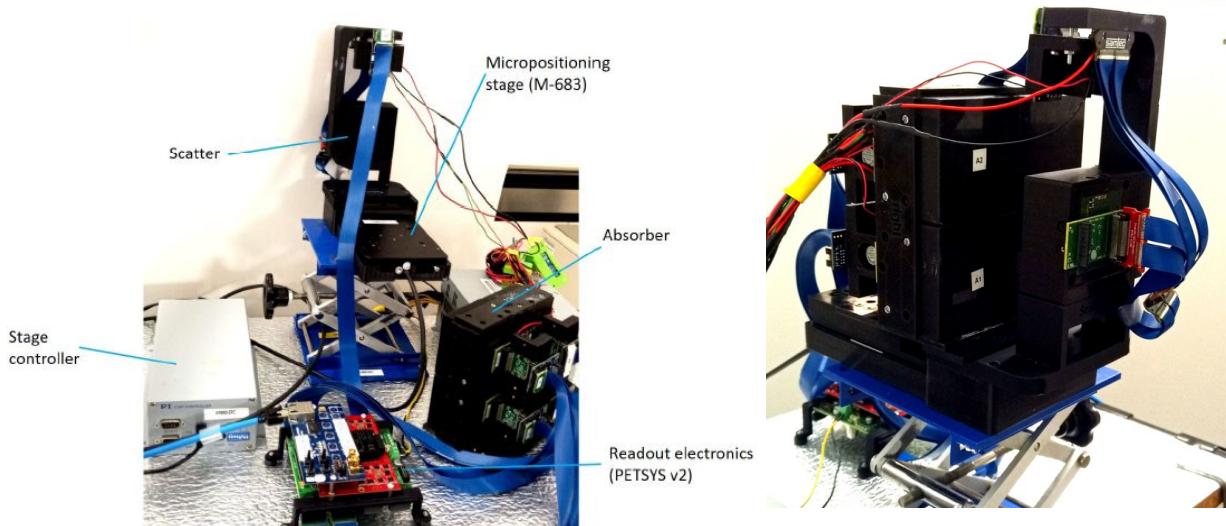


Figura 2.- Dispositivo experimental. En el panel de la izquierda se muestra el setup completo con el absorber desmontado. A la derecha se muestra la cámara Compton montada.

- **Cámara Compton i-TED-5:**
  - Scatterer detector (1): 1 cristal centelleador inorgánico de LaCl<sub>3</sub> (50 x 50 x 10 mm).
  - Absorber detector (2): 4 x cristal centelleador inorgánico de LaCl<sub>3</sub> (50 x 50 x 25 mm).
  - 5 x fotomultiplicador de Silicio (SIPMs) pixelados (8 x 8 pixeles de 3 x 3 mm) (SensL ArrayJ-60035-64P-PCB).
  - Lectura de cada SIPM: Circuito integrado de aplicación específica (ASICs) .
  - Estabilización térmica de los ASICs: Celulas Peltier (FPH1-7106NC).
- **Electrónica, adquisición y procesamiento de datos:**
  - PETsys FEB/D-v2 electronics. (<https://www.petsyselectronics.com/web/>)

- PC con software de adquisición PETsys.
- ROOT (ver guión de la práctica de ROOT, <https://root.cern.ch/>)

- **Dispositivos de posicionamiento:**

- Gantry XY para el posicionamiento de fuentes radiactivas en el campo de visión para imagen Compton.
- Posicionador micrométrico (M-683 from PI-miCos) controlado remotamente que permite variar la distancia entre los dos planos de detección.

## **Realización de la práctica**

### **A) Introducción al dispositivo experimental y sistema de adquisición de datos.**

Se dedicará la primera parte de la práctica a explicar el funcionamiento de los sistemas de detección gamma y el sistema de posicionamiento remoto del gantry XY para la colocación de las fuentes radiactivas. También se introducirá el sistema de adquisición de datos para que los alumnos puedan trabajar de forma autónoma a lo largo del resto de la práctica.

### **B) Imagen Compton**

Se realizarán las siguientes medidas:

- Toma de datos de una fuente gamma situada en dos posiciones distintas en el campo de visión de la cámara Compton. El posicionamiento de las muestras será realizado por los alumnos manejando el controlador remoto del gantry XY integrado en el sistema de adquisición datos. (→ Estudio de la reconstrucción espacial).

Procesamiento de datos y descripción del algoritmo de reconstrucción de la imagen Compton:

- Generación de eventos en cristales individuales (*singles*) y espectro de energías en cada detector (modo singles)
- Determinación de la posición de interacción en cada detector.
- Construcción de coincidencias temporales y espectro en coincidencia o add-back
- Reconstrucción de la imagen Compton: backprojection.

Análisis de imágenes:

- Generación de las imágenes 2D y proyecciones XY.
- Suma de las imágenes de las 2 posiciones para validar la capacidad de resolverlas espacialmente.
- Determinación de la resolución espacial.

### **C) Imagen PET**

En la segunda parte de la práctica, los dos planos detectores sensibles a la posición de la cámara Compton (*scatterer* y *absorber*) serán utilizados como detectores en coincidencia para la obtención de imágenes PET de fuentes situadas entre ellos.

A diferencia de en el apartado anterior, para la realización de imagen PET es necesario utilizar una fuente emisora  $\beta^+$ , como el  $^{22}\text{Na}$ . Se realizarán medidas con esta fuente situada en distintas posiciones equidistantes a los dos planos detectores.

- Toma de datos situando la fuente de  $^{22}\text{Na}$  en 5 posiciones de las marcadas en el soporte posicionador ( $\rightarrow$  Estudio de la reconstrucción espacial).

Procesamiento de datos y descripción del algoritmo de reconstrucción de la imagen PET:

- Generación de eventos en cristales individuales (*singles*).
- Determinación de la posición de interacción en cada detector.
- Construcción de coincidencias seleccionando solo fotopico de 511 keV.
- Reconstrucción de la imagen PET.

Análisis de imágenes:

- Generación de las imágenes 2D y proyecciones XY
- Suma de las imágenes de las 5 posiciones para validar la capacidad de resolverlas espacialmente.
- Determinación de la resolución espacial.

#### **D) Ejercicio**

- Estudio del impacto de la incertidumbre en la determinación de la posición ( $\delta r/r$ ) y de la resolución en energía  $\delta E'/E'$  en la resolución espacial de la imagen Compton y PET.

#### **E) Memoria**

La memoria consistirá en la presentación y discusión de los resultados más relevantes y la contestación de una pregunta relativa al ejercicio D). Los detalles se explicaran en la sesión de prácticas.