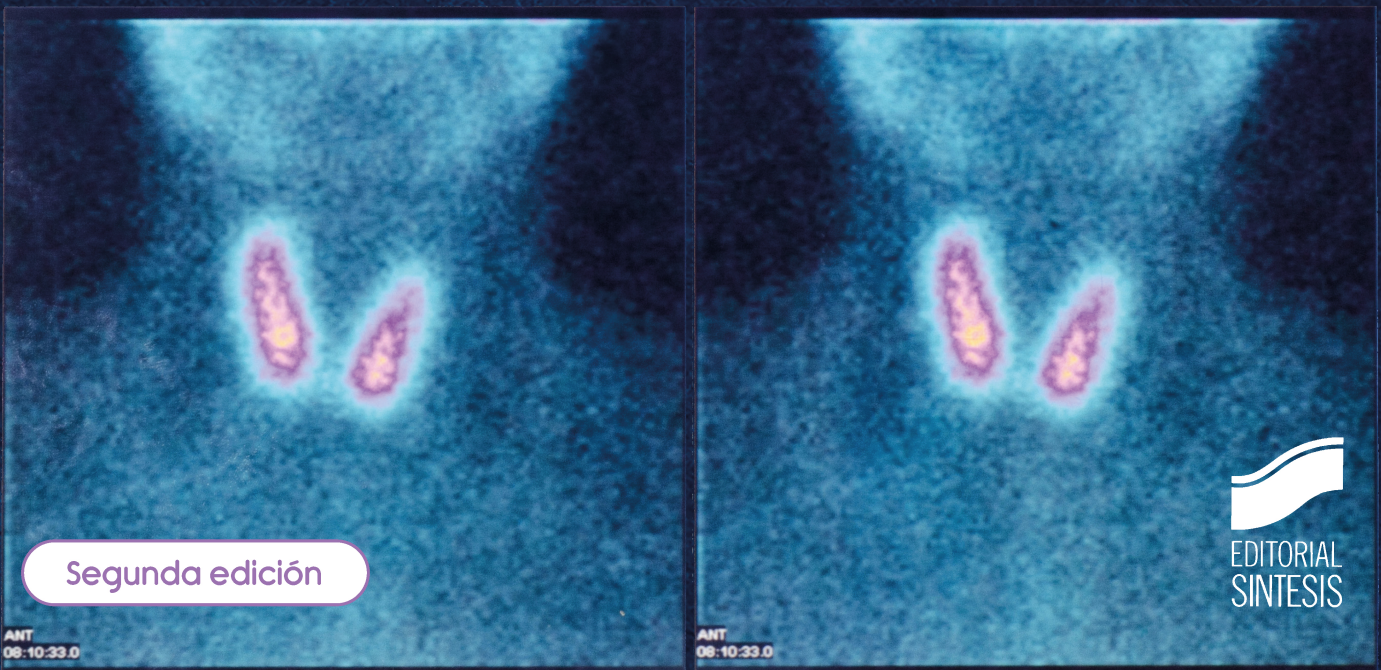
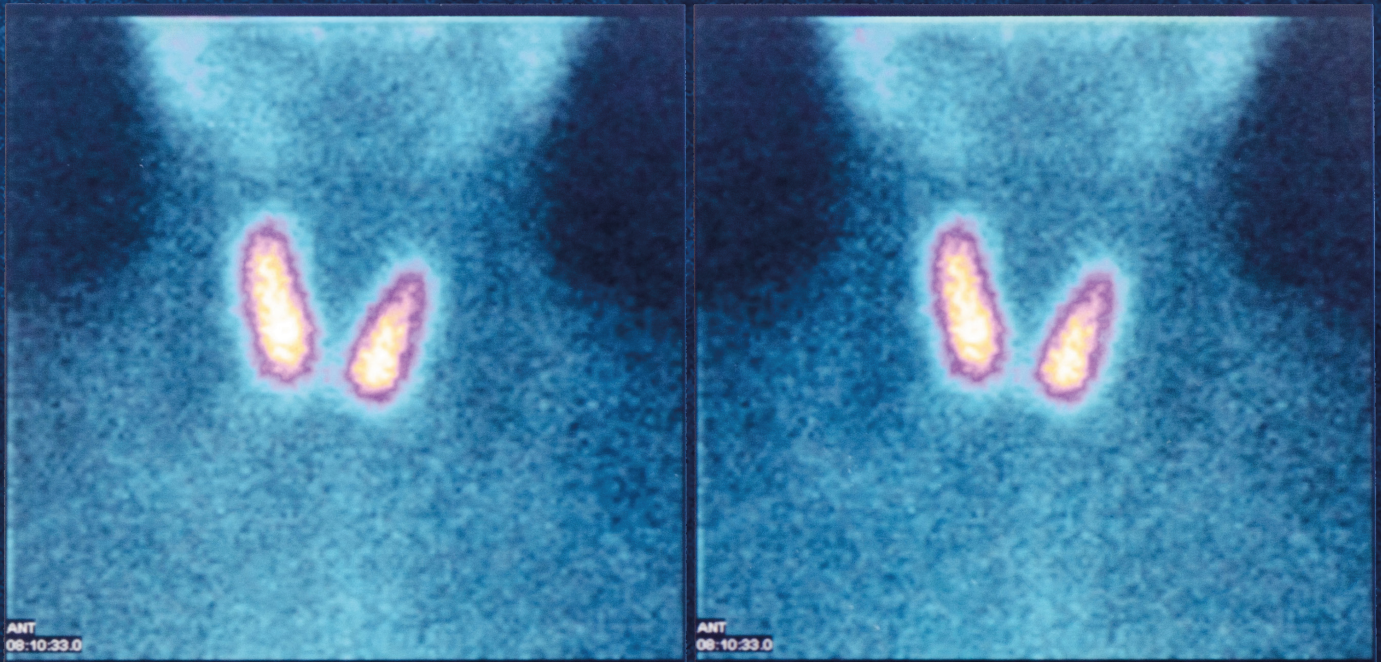


# TÉCNICAS DE IMAGEN EN MEDICINA NUCLEAR

Carlos Vallejo Carrascal



Segunda edición

# T

# écnicas de imagen en medicina nuclear

Carlos Vallejo Carrascal

(segunda edición)



© Carlos Vallejo Carrascal

© EDITORIAL SÍNTESIS, S. A.  
Vallehermoso, 34. 28015 Madrid  
Teléfono 91 593 20 98  
[www.sintesis.com](http://www.sintesis.com)

ISBN: 979-13-7055-006-6  
Depósito Legal: M-14.131-2026

Impreso en España - Printed in Spain

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito de Editorial Síntesis, S. A.

# ÍNDICE

Prólogo .....	12
---------------	----

## PARTE I

### Ámbito de la medicina nuclear

## **1. Definición del campo de actuación de la medicina nuclear** **RA1**

---

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación .....	16
Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	16
Mapa conceptual .....	17
Glosario .....	18
Punto de partida .....	19
1.1. Definición y campos de actuación de la medicina nuclear .....	19
1.2. Fundamentos físico-químicos de las aplicaciones clínicas de medicina nuclear .....	20
1.3. Tipos de transformaciones nucleares .....	24
1.3.1. La desintegración $\alpha$ .....	24
1.3.2. La desintegración $\beta$ .....	25
1.3.3. La desintegración $\gamma$ .....	26
1.3.4. La captura electrónica .....	26
1.4. Estructura y funcionamiento de un servicio de medicina nuclear .....	27
1.4.1. Áreas funcionales .....	27
1.4.2. Equipo de profesionales .....	29

1.4.3. Características de una instalación radiactiva .....	29
1.4.4. Vigilancia radiológica .....	31
1.5. Técnico superior de imagen para el diagnóstico (TSID) .....	32
1.6. Actuación en medicina nuclear .....	33
1.7. Aspectos legales y éticos .....	35
Ideas clave .....	36
Aplica lo aprendido .....	37
Solución del punto de partida .....	38
Práctica profesional .....	39
Ponte a prueba .....	40

## 2. Determinación de los parámetros de funcionamiento de los equipos de adquisición de imágenes

RA2

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación .....	42
Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	42
Mapa conceptual .....	43
Glosario .....	44
Punto de partida .....	45
2.1. Fundamentos físico-técnicos de los equipos .....	45
2.1.1. Tipos de detectores de radiación .....	46
2.1.2. Activímetro o calibrador de dosis .....	49
2.2. La gammacámara .....	50
2.2.1. Componentes principales y principios de funcionamiento .....	50
2.2.2. Filtros a la radiación Compton y colimadores .....	51
2.2.3. Tipos de gammacámara. Mono o multicabezal. Sistema tomográfico (SPECT) .....	54
2.2.4. La formación de la imagen .....	56
2.3. Equipos para PET: fundamentos y particularidades .....	58
2.3.1. Fundamentos radiodiagnósticos de la PET .....	58
2.4. Equipos híbridos .....	61
2.4.1. Fundamentos de la imagen híbrida .....	61
2.4.2. Tipos de equipos híbridos .....	61
2.5. Sondas para cirugía radioguiada .....	63
Ideas clave .....	65

Aplica lo aprendido .....	66
Solución del punto de partida .....	67
Práctica profesional .....	69
Ponte a prueba .....	70

### 3. Mantenimiento de los equipos y del material de la sala de exploración

RA3

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación .....	72
Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	72
Mapa conceptual .....	73
Glosario .....	74
Punto de partida .....	75
3.1. Equipamientos de la sala .....	75
3.1.1. Tipos: sanitarios, electromédicos e informáticos .....	76
3.2. Materiales de la sala .....	77
3.2.1. Material fungible .....	77
3.2.2. Material no fungible .....	78
3.2.3. Preparación, control y reposición del material necesario .....	78
3.3. Protocolos de puesta en marcha de los equipos .....	79
3.3.1. Controles de calidad de la gammacámara .....	79
3.3.2. Controles de calidad del PET .....	83
3.4. Actividades de mantenimiento de equipos, accesorios y periféricos .....	85
3.5. Protocolos de protección radiológica .....	87
3.5.1. Monitoreo de área y contaminación .....	90
3.6. Documentación relativa al mantenimiento y la reposición .....	91
3.6.1. Registro de averías e incidencias .....	91
3.6.2. Archivo e informes .....	92
3.7. Cierre de la instalación .....	92
Ideas clave .....	93
Aplica lo aprendido .....	94
Solución del punto de partida .....	95
Práctica profesional .....	98
Ponte a prueba .....	99

## PARTE II

## Aplicación clínica de la medicina nuclear

## 4. Protocolos del sistema musculoesquelético, en cardiología, vasculares y linfáticos y neumológicos

RA4

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación .....	102
Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	102
Mapa conceptual .....	103
Glosario .....	104
Punto de partida .....	105
<b>4.1. Estudios isotópicos del sistema musculoesquelético .....</b>	<b>105</b>
4.1.1. Gammagrafía ósea .....	105
4.1.2. Gammagrafía de médula ósea .....	110
4.1.3. Exploraciones con leucocitos marcados .....	111
4.1.4. Gammagrafía con citrato de galio ( <sup>67</sup> Ga) .....	112
<b>4.2. Estudios isotópicos en cardiología .....</b>	<b>114</b>
4.2.1. Estudios de primer paso y valoración de comunicaciones izquierda-derecha ( <i>shunt</i> I-D) .....	115
4.2.2. Ventriculografía en equilibrio .....	116
4.2.3. Perfusión miocárdica con <sup>201</sup> Tl .....	118
4.2.4. Perfusión miocárdica con <sup>99m</sup> Tc .....	119
4.2.5. Estudio de daño miocárdico reciente .....	122
4.2.6. Estudio de inervación adrenérgica cardiaca .....	124
<b>4.3. Estudios isotópicos vasculares y linfáticos .....</b>	<b>127</b>
4.3.1. Flebografía isotópica .....	127
4.3.2. Linfografía isotópica .....	129
<b>4.4. Estudios isotópicos en neumología .....</b>	<b>130</b>
4.4.1. Estudio de ventilación pulmonar .....	131
4.4.2. Estudio de perfusión pulmonar .....	132
4.4.3. Estudio de <i>shunt</i> pulmonar D-I (derecha-izquierda) .....	134
Ideas clave .....	137
Aplica lo aprendido .....	138

Solución del punto de partida .....	139
Práctica profesional .....	140
Actividad grupal .....	141
Ponte a prueba .....	142

## **5. Protocolos en endocrinología, patología digestiva, patología hepatobiliar y esplénica y nefrourología**

**RA4**

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación .....	144
Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	144
Mapa conceptual .....	145
Glosario .....	146
Punto de partida .....	147
<b>5.1. Estudios isotópicos en endocrinología</b> .....	147
5.1.1. Gammagrafía tiroidea con <sup>99m</sup> Tc .....	148
5.1.2. Gammagrafía paratiroidea .....	150
5.1.3. Gammagrafía de corteza suprarrenal .....	152
5.1.4. Gammagrafía de médula suprarrenal .....	153
5.1.5. Estudio de tumores neuroendocrinos con análogos de la somatostatina .....	156
5.1.6. Rastreo gammagráfico del cáncer de tiroides .....	158
<b>5.2. Estudios isotópicos en patología digestiva</b> .....	161
5.2.1. Estudio gammagráfico de las glándulas salivales .....	161
5.2.2. Estudio gammagráfico de tránsito esofágico .....	163
5.2.3. Estudio para la detección de reflujo gastroesofágico (RGE) .....	165
5.2.4. Estudio gammagráfico de vaciamiento gástrico .....	167
5.2.5. Estudio gammagráfico gástrico para la detección de mucosa gástrica ectópica ....	169
5.2.6. Estudio para el diagnóstico de hemorragia digestiva .....	171
5.2.7. Estudio para la valoración de la enfermedad inflamatoria intestinal .....	174
<b>5.3. Estudios isotópicos en patología hepatobiliar y esplénica</b> .....	175
5.3.1. Gammagrafía hepatobiliar .....	175
5.3.2. Estudio esplénico con hematíes marcados desnaturalizados .....	177
5.3.3. Estudio hepático con hematíes marcados para el estudio de hemangiomas .....	179
5.3.4. Gammagrafía hepatoesplénica con coloide .....	182
<b>5.4. Estudios isotópicos en nefrourología</b> .....	184
5.4.1. Renograma isotópico .....	184

5.4.2. Gammagrafía cortical renal .....	186
5.4.3. Cistogammagrafía isotópica directa .....	187
5.4.4. Cistogammagrafía isotópica indirecta .....	189
Ideas clave .....	191
Aplica lo aprendido .....	192
Solución del punto de partida .....	193
Práctica profesional .....	195
Ponte a prueba .....	196

## 6. Protocolos en neurología, oncología, cirugía radioguiada radioterapia metabólica y tomografía por emisión de positrones

RA4

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación .....	198
Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	198
Mapa conceptual .....	199
Glosario .....	200
Punto de partida .....	201
6.1. Estudios isotópicos en neurología .....	202
6.1.1. Estudio de perfusión cerebral .....	202
6.1.2. Estudio de perfusión cerebral ante sospecha de muerte cerebral .....	204
6.1.3. SPECT cerebral con transportadores dopaminérgicos .....	205
6.1.4. Cisternografía isotópica .....	207
6.2. Estudios isotópicos con sonda para cirugía radioguiada .....	209
6.2.1. Estudio de ganglio centinela en estudios de mama .....	209
6.2.2. Estudio de ganglio centinela en estudios de melanoma .....	211
6.2.3. Estudio de tumor de mama no palpable .....	213
6.2.4. Estudio de tumores de mama no palpables y ganglio centinela .....	215
6.3. Estudios isotópicos en oncología .....	216
6.3.1. Rastreo corporal con $^{201}\text{Tl}$ .....	217
6.3.2. Rastreo corporal con $^{67}\text{Ga}$ .....	219
6.4. Terapia metabólica en medicina nuclear .....	221
6.4.1. Tratamiento del hipertiroidismo con $^{131}\text{I}$ .....	222
6.4.2. Tratamiento de cáncer diferenciado de tiroides con $^{131}\text{I}$ .....	222
6.4.3. Tratamiento del dolor óseo metastásico .....	224

6.4.4. Tratamiento de tumores de médula adrenal con <sup>131</sup> I-MIBG .....	225
6.4.5. Sinoviortesis isotópica .....	226
6.5. Estudios de tomografía por emisión de positrones .....	228
6.5.1. Estudios oncológicos .....	228
6.5.2. Estudios neurológicos .....	231
Ideas clave .....	234
Aplica lo aprendido .....	236
Solución del punto de partida .....	237
Práctica profesional .....	239
Ponte a prueba .....	241

### PARTE III

## La imagen en medicina nuclear

### 7. Descripción del proceso de registro de la imagen en medicina nuclear

RA5

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación .....	244
Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	244
Mapa conceptual .....	245
Glosario .....	246
Punto de partida .....	247
7.1. La imagen y el estudio normal .....	247
7.1.1. Características de los diferentes tipos de adquisición .....	249
7.2. Parámetros de calidad de la imagen .....	251
7.3. Artefactos .....	252
7.3.1. Artefactos debidos a errores en la preparación del radiotrazador .....	253
7.3.2. Artefactos debidos a errores en la administración del radiotrazador .....	253
7.3.3. Artefactos debidos a fallos en la gammacámara .....	254
7.3.4. Artefactos debidos a errores en la técnica de exploración .....	255
7.4. Parámetros principales en la adquisición y su influencia en la calidad de la imagen .....	258
7.4.1. Fases del procesado de estudio .....	259
7.4.2. Herramientas de procesado .....	259

7.4.3. Proyecciones gammagráficas .....	261
7.4.4. Imágenes secuenciales de un estudio dinámico .....	261
<b>7.5. Cuantificación de las imágenes .....</b>	<b>262</b>
7.5.1. Delimitación de las áreas de interés (ROI) .....	262
7.5.2. Curvas de actividad/tiempo .....	263
<b>7.6. Proceso de las imágenes en 2D y 3D .....</b>	<b>265</b>
7.6.1. Normalización del estudio .....	265
7.6.2. Reconstrucción tomográfica en la obtención de los cortes tomográficos y de las imágenes tridimensionales .....	265
7.6.3. Mapas polares .....	267
<b>7.7. La tomografía por emisión de positrones .....</b>	<b>268</b>
7.7.1. Adquisición y procesado de imágenes .....	269
7.7.2. Modalidades de imágenes, imágenes de transmisión o de fusión PET-TC y procesado de las imágenes .....	271
7.7.3. Cuantificación de las imágenes .....	273
7.7.4. Adquisición de imágenes en PET-TC .....	274
<b>7.8. Archivo de imágenes .....</b>	<b>274</b>
7.8.1. Formas de presentación .....	275
7.8.2. RIS-PACS .....	275
<b>Ideas clave .....</b>	<b>277</b>
<b>Aplica lo aprendido .....</b>	<b>279</b>
<b>Solución del punto de partida .....</b>	<b>280</b>
<b>Práctica profesional .....</b>	<b>282</b>
<b>Ponte a prueba .....</b>	<b>284</b>

## **8. Valoración de la calidad de imagen en exploraciones de medicina nuclear**

**RA6**

Resultado de aprendizaje y criterios de evaluación .....	286
Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	286
Mapa conceptual .....	287
Glosario .....	288
Punto de partida .....	289

8.1.	Introducción .....	290
8.2.	Estudios isotópicos del sistema musculoesquelético .....	291
	8.2.1. Gammagrafía ósea .....	292
8.3.	Estudios isotópicos en cardiología .....	293
	8.3.1. Estudio de primer paso cardiaco .....	293
	8.3.2. Ventriculografía en equilibrio .....	294
	8.3.3. Estudio de perfusión miocárdica .....	295
8.4.	Estudios isotópicos vasculares y linfáticos .....	296
	8.4.1. Linfogramagrafía .....	297
8.5.	Estudios isotópicos en neumología .....	297
	8.5.1. Estudio de ventilación pulmonar .....	298
	8.5.2. Estudios de perfusión y <i>shunt</i> pulmonar .....	298
8.6.	Estudios isotópicos en endocrinología .....	299
	8.6.1. Gammagrafía de tiroides con $^{99m}\text{TcO}_4^-$ .....	300
	8.6.2. Gammagrafía de glándulas paratiroides .....	300
	8.6.3. Gammagrafía de médula suprarrenal .....	301
	8.6.4. Gammagrafía con análogos de la somatostatina (pentatreótido) .....	301
8.7.	Estudios isotópicos del sistema nervioso central .....	302
	8.7.1. Estudio isotópico de perfusión cerebral .....	302
	8.7.2. SPECT cerebral con transportadores dopaminérgicos .....	303
	8.7.3. Estudio de perfusión cerebral ante sospecha de muerte cerebral .....	303
8.8.	Estudios isotópicos en nefrourología .....	303
	8.8.1. Renograma isotópico .....	304
	8.8.2. Gammagrafía cortical renal .....	304
	8.8.3. Cistogramagrafía directa .....	305
8.9.	Estudios isotópicos en patología digestiva, hepatoesplénica y biliar .....	306
	8.9.1. Estudio hepático con hematíes marcados para el estudio de hemangiomas y el estudio de hemorragias digestivas .....	306
	8.9.2. Gammagrafías de las glándulas salivales .....	307
	8.9.3. Detección de mucosa gástrica ectópica: divertículo de Meckel .....	307
	8.9.4. Gammagrafía hepatoesplénica y gammagrafía hepatobiliar .....	308
8.10.	Estudios isotópicos en patología infecciosa e inflamatoria .....	308
	8.10.1. Exploraciones con leucocitos marcados .....	309

8.10.2. Gammagrafía con citrato de galio ( $^{67}\text{Ga}$ ) .....	309
<b>8.11. Estudios isotópicos con sonda para cirugía radioguiada .....</b>	<b>309</b>
8.11.1. Estudio de ganglio centinela .....	309
<b>8.12. Estudios isotópicos en oncología .....</b>	<b>310</b>
8.12.1. Tratamiento con $^{131}\text{I}$ -MIBG en el neuroblastoma .....	310
8.12.2. Rastreo de cáncer de tiroides .....	310
<b>8.13. Estudios en tomografía por emisión de positrones .....</b>	<b>311</b>
<b>8.14. Exploraciones de medicina nuclear en pediatría .....</b>	<b>312</b>
<b>8.15. Exploraciones de medicina nuclear en urgencias .....</b>	<b>314</b>
<b>8.16. El paciente crítico .....</b>	<b>314</b>
<b>8.17. Estudios cinéticos <i>in vivo</i> .....</b>	<b>315</b>
Ideas clave .....	316
Aplica lo aprendido .....	318
Solución del punto de partida .....	319
Práctica profesional .....	321
Ponte a prueba .....	322

# 2

## Determinación de los parámetros de funcionamiento de los equipos de adquisición de imágenes

### RESULTADO DE APRENDIZAJE Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

**RA 2.** Determina los parámetros de funcionamiento de los equipos de adquisición de imágenes, describiendo su estructura y funcionamiento.

- a) Se han definido los fundamentos físico-técnicos de los equipos de medicina nuclear.
- b) Se han descrito los componentes, los tipos y las funciones de los equipos en medicina nuclear.
- c) Se han seleccionado los colimadores según el tipo de radiación y la exploración.
- d) Se han definido los parámetros de ventana, la matriz, el zoom y las cuentas que hay que adquirir en cada exploración.
- e) Se ha definido el tiempo por imagen y el tiempo en estudios dinámicos, en la adquisición de imagen gammagráfica.
- f) Se ha establecido la órbita de rotación, la parada angular y el tiempo de adquisición de la tomografía de emisión por fotón único (SPECT) y SPECT-TAC.
- g) Se han definido los parámetros de adquisición por proyección de la PET y la PET-TAC.
- h) Se han definido las características de los equipos híbridos.



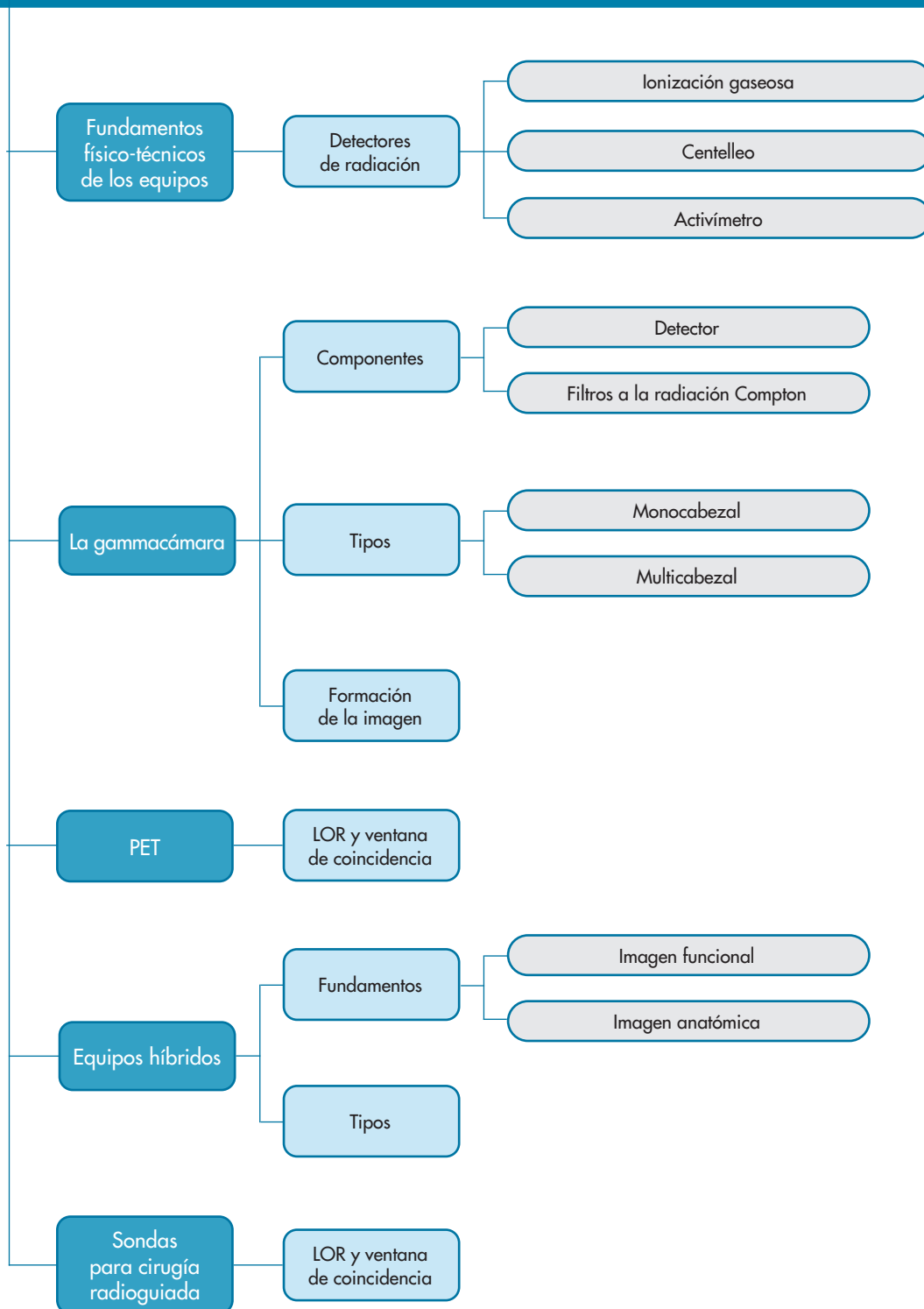
Objetivos de Desarrollo Sostenible

En este capítulo se trabajará el ODS 9.



## MAPA CONCEPTUAL

### DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES





## GLOSARIO

**Activímetro (o calibrador de dosis).** Equipo empleado para medir la actividad de los radio-trazadores que se van a administrar a los pacientes.

**Aniquilación electrón-positrón.** Evento físico consistente en la colisión de un electrón con un positrón. El resultado son dos fotones de 511 keV cada uno pero con direcciones opuestas.

**Colimador.** Componente de la cabeza de una gammacámara que delimita el área sobre la cual se va a adquirir una imagen, de acuerdo con el tamaño de la región anatómica de interés y la energía de los fotones.

**Cristal de centelleo.** Material que es capaz de transformar un fotón gamma en un destello de fotones de luz visible.

**Efecto Compton.** Interacción en la que un fotón de alta energía (rayos X o gamma) choca con un electrón libre, que le cede parte de su energía, resultando la dispersión del fotón con menor energía y la expulsión del electrón con energía cinética

**Gammacámara.** Equipo destinado a la adquisición de imágenes mediante la detección de fotones gamma procedentes de un trazador radiactivo administrado a un paciente.

**LOR (line of response).** Línea imaginaria que une dos detectores opuestos del anillo PET que detectan simultáneamente (en coincidencia) los dos fotones de 511 keV producidos por una aniquilación positrón-electrón.

**PET.** Técnica de adquisición de imágenes basadas en la detección de fotones procedentes de aniquilaciones electrón-positrón.

**Radiofármaco (o radiotrazador).** Compuesto que contiene átomos radiactivos que se administra a un paciente. Su distribución en el organismo del paciente es conocida gracias a la detección de las desintegraciones gamma de los átomos radiactivos del radiotrazador.

**Septo.** Tabique que separa dos orificios de un colimador.

**Sonda para cirugía radioguiada.** Detector intraoperatorio de radiación que detecta focos de alta concentración de radiotrazador administrado a un paciente.

**SPECT (single photon emission computed tomography).** Técnica con poder tomográfico consistente en la realización de un estudio alrededor de una zona anatómica de interés, de manera que se obtiene una serie de imágenes bidimensionales.

**Tubo fotomultiplicador.** Dispositivo que es capaz de transformar un fotón en una cascada de fotones mediante la emisión de un electrón por parte de un fotocátodo y de una sucesión de electrodos (llamados dínodos) a potencial creciente.

**Ventana de detección.** Intervalo de tiempo máximo que el sistema PET admite para considerar que dos fotones detectados pertenecen a la misma aniquilación.

## PUNTO DE PARTIDA



### *Conocimiento del equipamiento de adquisición de imágenes*

Cuando un técnico trabaja en una unidad de medicina nuclear es crucial que conozca en profundidad el equipamiento de adquisición de imágenes, ya que son sus herramientas de trabajo principales. Por ello, familiarizarse con los fundamentos físico-técnicos de los equipos de medicina nuclear y comprender los conceptos básicos que permitirán evaluar su funcionamiento correctamente garantizará la calidad diagnóstica de las imágenes y la operación segura de la instalación.

Realiza las siguientes actividades:

- Elabora un cuadro en el que se relacionen los tipos de detectores de radiación que se pueden ver en una unidad de medicina nuclear, su principio de funcionamiento, distinguiendo si se trata de detectores de ionización gaseosa o de centelleo.
- Recopila en un cuadro los equipos de adquisición de imagen, diferenciando claramente el fundamento de generación de imágenes y la disposición geométrica de los detectores.
- ¿Cuál es la importancia de conocer estos fundamentos antes de manipular los equipos en uso clínico?

Cuando todo el alumnado haya finalizado las tareas, se podrán compartir las conclusiones con el resto de la clase, argumentando los diferentes puntos de vista.

A lo largo de este capítulo aprenderemos más sobre las características de los equipos de adquisición de imagen y sobre otro equipamiento auxiliar que funciona como detector de radiaciones y que sirve de apoyo a las tareas del técnico.

## 2.1. Fundamentos físico-técnicos de los equipos

La radiación gamma tiene la capacidad de producir ionizaciones y excitaciones en la materia cuando interacciona con ella, de manera que los fundamentos de la detección de la radiación estarán basados en la medición de estos efectos. A su vez, estos dependen de la energía y del tipo de partícula que incide sobre la materia.



### IMPORTANTE

Las imágenes gammagráficas se obtienen a partir de la detección de fotones gamma emitidos por el paciente. Estas partículas poseen un elevado poder de penetración, lo que permite su registro desde el exterior del organismo. En cambio, las partículas alfa y beta, debido a su escasa capacidad de penetración, apenas pueden ser detectadas en este tipo de estudios.

Cualquier equipo que mida cualquier propiedad de la radiación va a incluir un componente dedicado a la detección de ionizaciones o excitaciones, denominado *detector*. Como resultado, el detector emite una señal débil, que debe ser adecuadamente amplificada y analizada con el fin de conocer el valor de la magnitud que se quiere medir.

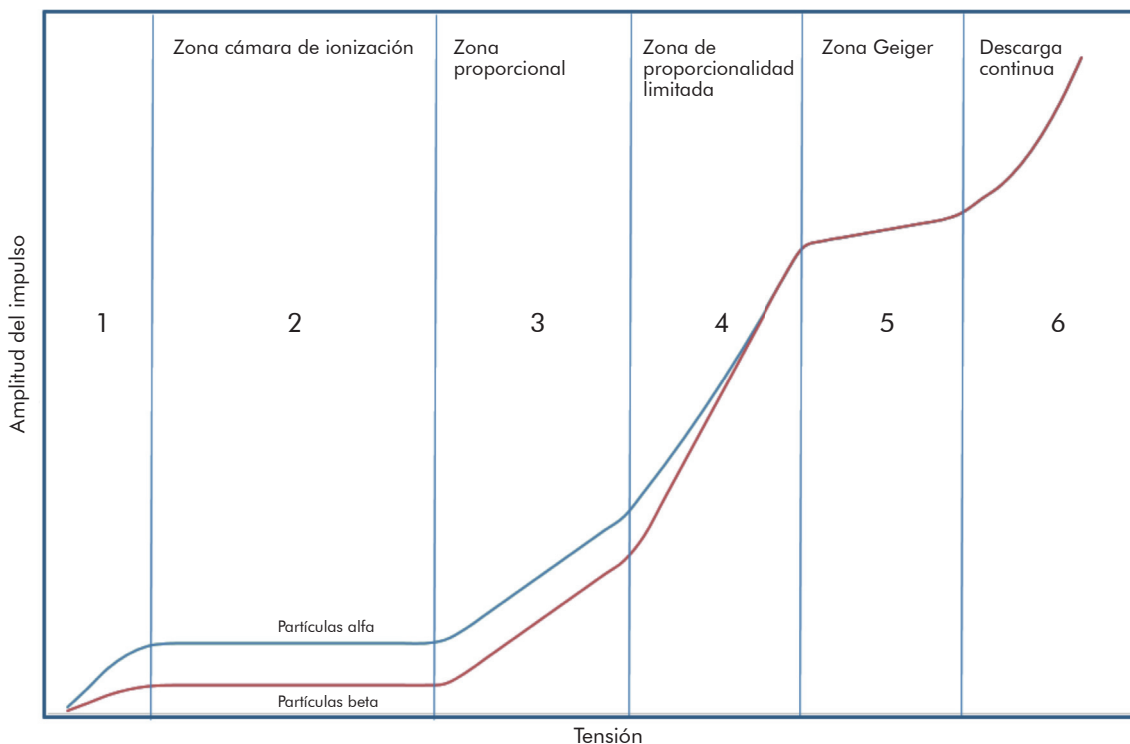
### 2.1.1. Tipos de detectores de radiación

Dependiendo del tipo de material que conforma el detector, se pueden encontrar detectores de diferentes tipos. Los más habituales en un servicio de medicina nuclear son los de ionización gaseosa, de centelleo, de semiconductor y termoluminiscentes.

#### A) Detectores de ionización gaseosa

Los detectores de ionización gaseosa están constituidos por un recinto lleno de un gas en el que se disponen dos electrodos aislados entre sí a los que se les aplica una tensión de polarización. El gas empleado en la construcción del detector puede ser aire, helio, xenón, neón, argón, etc.

Dado que los gases son aislantes, en condiciones normales no circula corriente eléctrica entre ambos electrodos. Pero, si una partícula o fotón ionizante alcanza el espacio entre los electrodos, el campo eléctrico existente dará lugar a que los portadores eléctricos generados en una interacción se dirijan hacia los electrodos de carga contraria. De esta forma se origina un breve impulso de corriente que puede ser medido, revelando la llegada de radiación ionizante al detector.



**Figura 2.1.** Variación de la amplitud de impulso con la tensión aplicada a un detector de ionización.

Dependiendo de la tensión aplicada entre los electrodos, se pueden distinguir tres tipos de detectores de ionización gaseosa:

- *Cámara de ionización*. Por una parte, los iones y los electrones formados tienden a recombinarse y por otra el campo eléctrico tiende al arrastre de estos portadores de carga. El predominio de este último efecto tiene como consecuencia el crecimiento de ambas curvas, hasta llegar a la zona 2 de la figura 2.1, donde se observa un efecto de saturación, derivado de la total captación de los portadores de carga creados en la ionización primaria por las partículas incidentes. Resulta de aplicación para medidas dosimétricas en las que interesa conocer el tipo de partícula incidente pero no interesa conocer la energía de cada una de ellas.
- *Contador proporcional*. Si aumenta la tensión por encima de  $V_p$ , se observa de nuevo que ambas curvas comienzan a crecer, tal como muestra la zona 3 de la figura 2.1, manteniendo también un curso paralelo. Esto se debe a que en esta zona los portadores de carga adquieren tal energía que producen ionización secundaria en su choque con moléculas del gas en su camino hacia el electrodo correspondiente. En esta zona la altura del impulso es proporcional a la energía disipada por la partícula en el detector y se dice que el contador proporcional tiene poder espectrométrico.
- *Contador Geiger*. Por encima del potencial de polarización  $V_g$  se entra en la zona Geiger, zona 5 de la figura 2.1, en la que la descarga ocasionada por la partícula ionizante se extiende a todo el volumen del contador. Por ello el impulso originado posee una amplitud independiente de la energía y naturaleza de la partícula. Los impulsos resultantes alcanzan todos la misma altura, independientemente de la partícula detectada y de su energía. Es un tipo de detector muy sensible y se emplea para detectar niveles de radiación muy bajos.

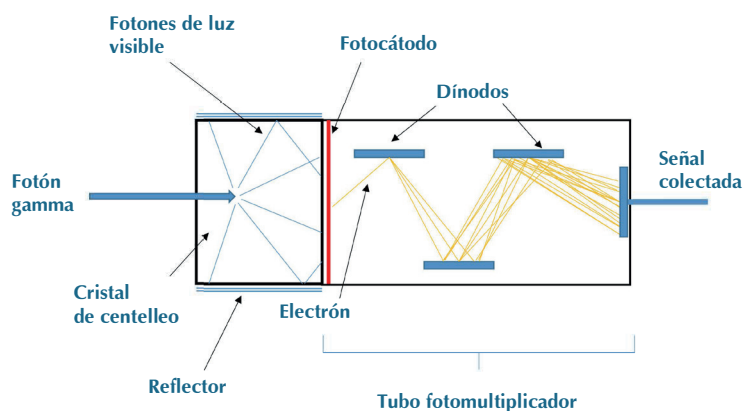
## B) Detectores de centelleo

Estos detectores (figura 2.2) están basados en la propiedad que tienen ciertos compuestos (materiales luminiscentes) para reemitir parte de la energía que absorben en forma de luz visible o ultravioleta. Este detector posee poder espectrométrico, alto rendimiento de detección y tiempo de resolución corto. Este tipo de detectores está formado por una sustancia luminiscente, un fotocátodo y un dispositivo fotoeléctrico llamado *fotomultiplicador*. Su esquema se muestra en la figura 2.3.



**Figura 2.2.** Detalles de un detector de centelleo (Hamamatsu®).

- *Cristal de centelleo*. Es el componente que transforma la energía procedente de las partículas de radiación incidente en destellos de luz. Está recubierto por un reflector cuya misión es evitar interferencias de la luz exterior y evitar que los fotones generados en el cristal no puedan abandonarlo, aumentando la eficiencia de detección. El cristal de centelleo más habitual es el yoduro de sodio activado con talio INa(Tl).
- *Fotocátodo*. Es el elemento sobre el que inciden los fotones generados en el material luminiscente. Desprende electrones por efecto fotoeléctrico.
- *Tubo fotomultiplicador*. Está formado por una serie de electrodos (dínodos) dispuestos ordenadamente para provocar el choque de los electrones en cada uno de ellos de manera sucesiva (figura 2.3). De esta manera, se logra un efecto de amplificación de la señal proveniente del fotocátodo.



**Figura 2.3.** Esquema de un detector de centelleo de INa(Tl) con tubo fotomultiplicador.



## CASO PRÁCTICO 2.1

El jefe de servicio de la unidad de medicina nuclear de tu hospital plantea la necesidad de revisar el equipamiento de detección de radiación con el fin de mejorar la calidad de las exploraciones y optimizar la seguridad radiológica.

Como técnico superior en imagen para el diagnóstico, debes colaborar en este proceso de evaluación tecnológica comparando dos tipos de detectores utilizados en el ámbito de la radiología y la medicina nuclear: detectores de ionización gaseosa y detectores de centelleo. Con el fin de determinar qué tipo de detector resulta más adecuado para su aplicación en equipos de adquisición de imágenes en medicina nuclear, elabora un cuadro comparativo en el que se relacionen ambos tipos de detectores teniendo en cuenta los siguientes criterios: resolución energética, sensibilidad y precisión.

El *output* del tubo fotomultiplicador debe ser preamplificado para proporcionar un acople óptimo entre el detector y el resto de la cadena electrónica. El analizador determina el isótopo que se está detectando y su energía, y puede mostrar datos de forma gráfica o numérica (cuentas, valor de dosis, energías, etc.).

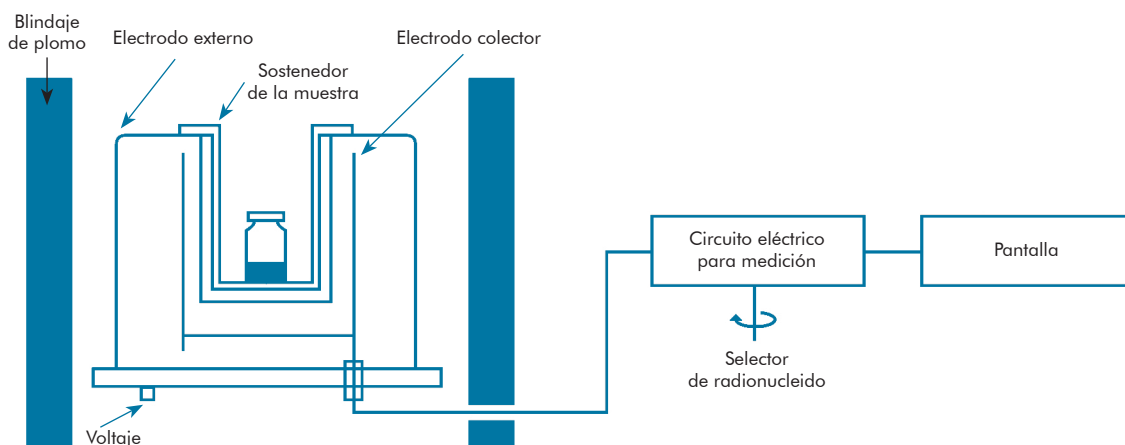
### 2.1.2. Activímetro o calibrador de dosis

Se trata de un instrumento detector de radiación esencial en un servicio de medicina nuclear (figura 2.4). Su función es medir la actividad de un radiotrazador contenida en un vial para, en definitiva, poder calcular y preparar la actividad que sea necesaria para un paciente. Su estructura se muestra en la figura 2.5. Consiste en un detector de ionización gaseosa en forma de pozo, con el diseño y la geometría adecuados para poder introducir en su interior los viales cuya actividad se desea medir.

Las medidas de actividad de los viales son devueltas por el visor electrónico en curios o bequerelios.



**Figura 2.4.** Activímetro típico de un servicio de medicina nuclear (Capintec®).



**Figura 2.5.** Estructura de un activímetro.



### ACTIVIDAD RESUELTA 2.1

Cita algunas medidas de protección radiológica que se podrían tener en cuenta durante el uso de un activímetro.

SOLUCIÓN

Campana de flujo laminar, guantes plomados, jeringas plomadas, reducción del tiempo de exposición, etc.

## 2.2. La gammacámara

Una gammacámara (también denominada cámara Anger) es un equipo esencial en cualquier servicio de medicina nuclear (ver figura 2.6). Se trata de un instrumento que detecta el radiotrazador que ha sido administrado a un paciente, de manera que se puede obtener una imagen bidimensional de la distribución de ese radiotrazador dentro de una región anatómica de interés.

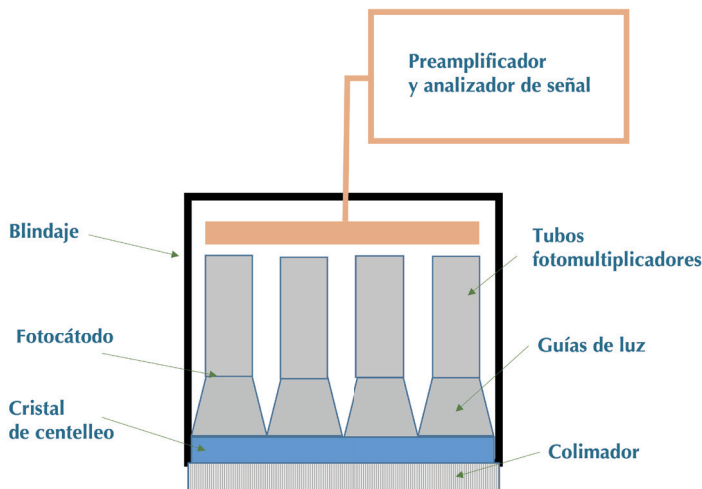


**Figura 2.6.**  
Gammacámara.

### 2.2.1. Componentes principales y principios de funcionamiento

El fundamento de detección de una gammacámara, al igual que en el caso del detector de centelleo, está basado en el fenómeno de luminiscencia, aunque una gammacámara posee mucha más complejidad en su estructura. La gammacámara presenta los siguientes componentes fundamentales: una o dos cabezas detectoras de radiación; una unidad electrónica que analiza los pulsos eléctricos y los ubica en coordenadas X-Y, y una unidad informática de presentación de datos, que presenta la información y la imagen.

1. El *detector* (figura 2.7) es el componente encargado de transformar la energía que proviene de las desintegraciones gamma de los radiotrazadores en pulsos eléctricos. En la figura 2.7 aparecen sus componentes.



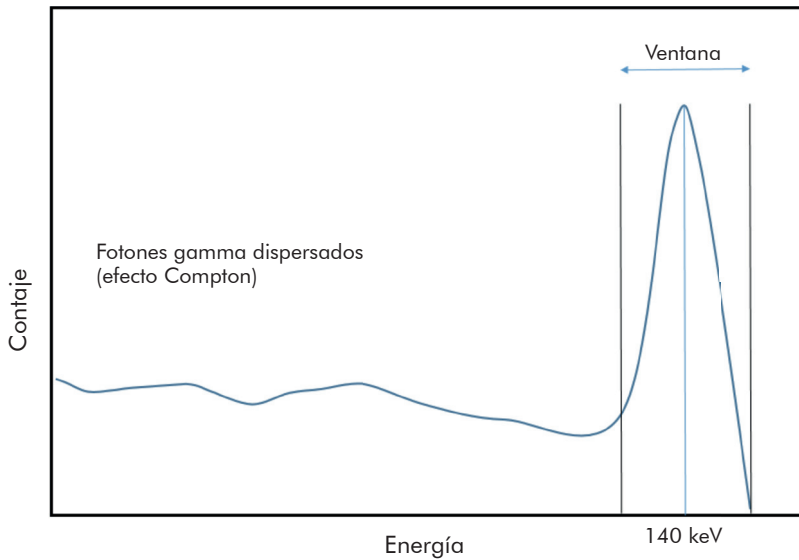
**Figura 2.7.** Esquema de una cabeza detectora.

- *Colimador*. Es el elemento que focaliza la radiación, restringiendo el ángulo con el que se recibe la radiación desde el paciente. Se trata de una pieza que cubre todo el diámetro del detector. Está fabricado con un material de alto número másico (plomo o tungsteno). Posee múltiples perforaciones en la orientación en que se quiera recibir la radiación. A las paredes entre orificios se les denomina *septos*.
  - *Cristal de centelleo*. Construido a base de yoduro de sodio activado con talio (NaI(Tl)). Absorbe la energía procedente de las desintegraciones  $\gamma$  y la convierte en destellos de fotones de luz visible o ultravioleta. Cada uno de estos destellos suele estar compuesto por alrededor de 30 fotones por cada keV absorbido por el cristal.
  - *Fotocátodo*. Inmediatamente tras el cristal de NaI(Tl), se encarga de transformar, mediante efecto fotoeléctrico, los fotones que provienen de los destellos de luz generados en el cristal en electrones que se dirigirán hacia el tubo fotomultiplicador. Suele estar formado por una pequeña capa de una aleación de antimonio, cesio y potasio.
  - *Tubo fotomultiplicador (TFM)*. Incrementa la señal que proviene del fotocátodo transformándolo en una señal medible. El electrón proveniente del fotocátodo llega al TFM y es acelerado hasta el primer dínodo. Así, genera una avalancha de electrones que a su vez es acelerada hasta el siguiente dínodo. Repitiendo este proceso alrededor de 10 veces se puede obtener una señal eléctrica de suficiente amplitud para poder ser medida. La diferencia de potencial entre dínodos consecutivos es del orden de los 100 V. Se muestran en la figura 2.8.
  - *Guías de luz*. Sirven de unión entre el cristal y los fotomultiplicadores. Son las guías de los destellos generados en el cristal para que el cambio en la refracción no sea demasiado brusco y no se pierdan fotones a la entrada del TFM por reflexión.
  - *Blindaje*. Envuelve el cristal de centelleo en su parte lateral con el objetivo de aislarlo de la radiación ambiental y protegerlo contra la humedad. Está fabricado con plomo.
  - *Preamplificador*. El *output* de cada TFM que conforma la cabeza detectora debe ser preamplificado para dotarlo de una morfología adecuada para su posterior análisis y maximizar la relación señal/ruido.
2. *Circuito de posicionamiento*. Es la parte electrónica que recibe todas las señales de los TFM y las ubica en una posición de coordenadas X-Y.
  3. *Sistema de tratamiento de la señal*. Tiene la función de filtrar las señales de manera que solo se computen aquellas que se correspondan con fotones de valor energético adecuado, filtrando la contribución de fotones atenuados por efecto Compton, lo que mejora la calidad de la imagen.

### 2.2.2. Filtros a la radiación Compton y colimadores

El efecto Compton reduce la calidad de la imagen disminuyendo la resolución espacial del sistema de diagnóstico. La radiación emitida por el radiotrazador en el paciente posee una energía determinada y atraviesa los tejidos sin interactuar con ellos; pero parte de ella sí interactúa por efecto Compton y da lugar a que haya cedido parte de su energía y que su trayectoria haya sido alterada. Por esto la radiación Compton no contribuye a la calidad de imagen reflejando la distribución de un radiofármaco en un paciente, sino a empeorar la imagen confiriéndole más ruido.

Se puede aminorar la contribución del efecto Compton mediante el uso de colimadores y la adecuada selección de la ventana de detección.



**Figura 2.8.** Espectro detectado por la gammacámara. La ventana de detección se centra en el fotopico.

La gammacámara da la posibilidad de establecer un intervalo de energías, de tal manera que los fotones detectados que posean una energía fuera de este intervalo no son computados para la obtención de la imagen final. A este intervalo se le denomina *ventana de detección* (figura 2.8).



### RECUERDA

En medicina nuclear también pueden emplearse radionúclidos emisores beta para la obtención de imágenes con una gammacámara, gracias a que, tras la desintegración beta, el núcleo hijo suele quedar en un estado excitado y tiende a estabilizarse mediante la emisión de radiación gamma, que es la que finalmente se detecta.

El uso de colimadores es también crucial para minimizar la contribución del efecto Compton en la imagen final, a la par que para eliminar la contribución de la radiación que no proviene de la orientación adecuada. Por ejemplo, la radiación dispersa que no proviene de la dirección paralela a los orificios.

Existen varios tipos de colimadores, que se clasifican según diferentes factores:

- a) Según la *distribución de los orificios* (figura 2.9):
  - *Divergente*. Prácticamente en desuso. Es un tipo de colimador con los orificios divergentes hacia el paciente, de manera que aumenta el campo de visión (FOV, *field*