

UF2

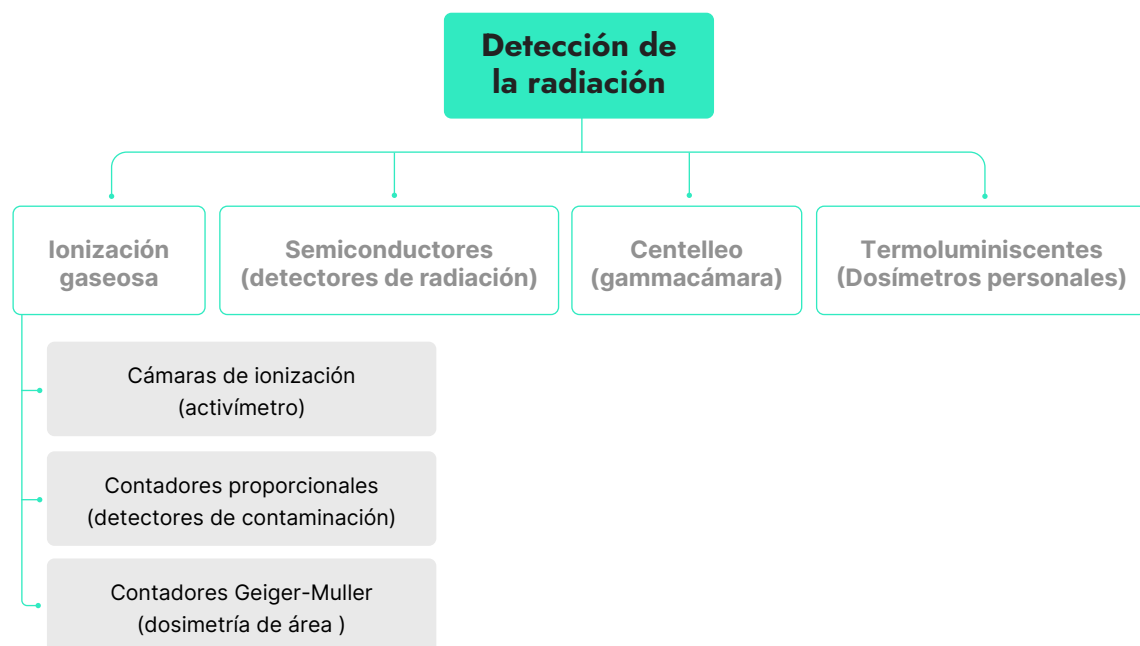
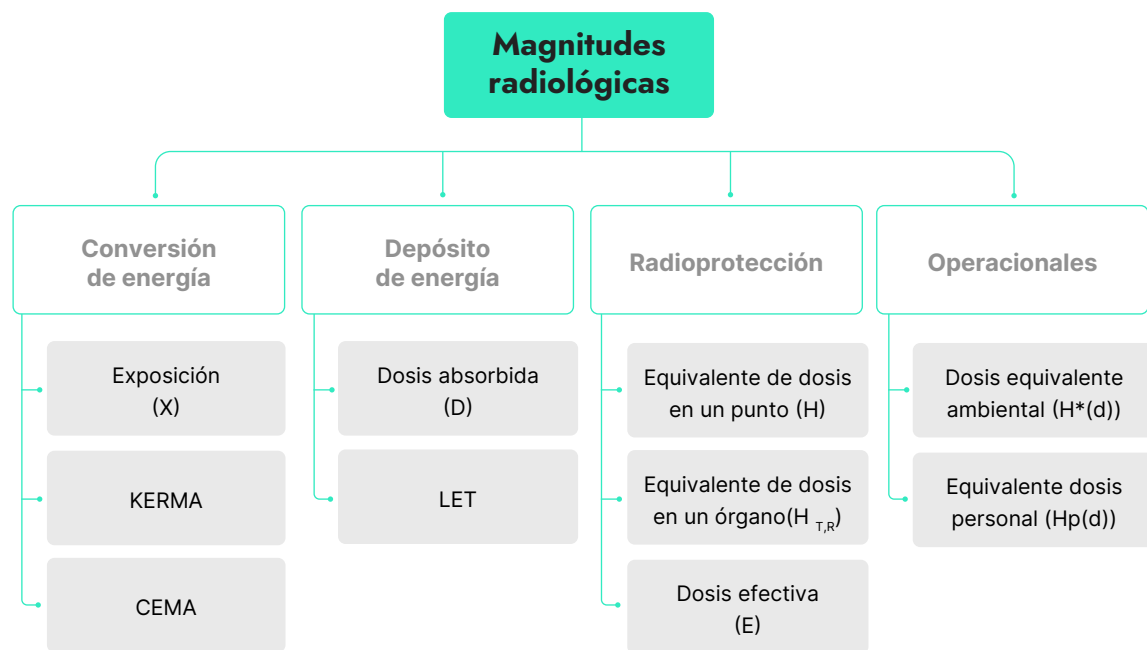
Procedimientos de detección de la radiación

Protección radiológica

ÍNDICE

Mapa conceptual	03
1. Magnitudes y unidades radiológicas	04
1.1. Clasificación de las magnitudes radiológicas	04
1.2. Magnitudes y unidades de dosimetría para conversión de energía.....	04
1.3. Magnitudes de dosimetría para el depósito de energía en un medio ..	05
1.4. Magnitudes de radioprotección.....	05
1.5. Magnitudes operacionales	08
2. Detección y medida de la radiación.....	11
2.1. Modos de funcionamiento de los detectores.....	13
3. Detectores basados en ionización gaseosa	15
3.1. Tipos de detectores	15
A. Detectores basados en ionización gaseosa	16
B. Detectores de estado sólido.....	17
C. Detectores basados en la luminiscencia.....	18
D. Detectores de película	19
E. Detectores de neutrones	19
3.2. Registro de los datos dosimétricos	21

Mapa conceptual



01 Magnitudes y unidades radiológicas

DEFINICIÓN

Las magnitudes permiten la cuantificación de propiedades y la asignación de valores numéricos de los sistemas físicos a través de sus correspondientes unidades de medida.

Para su uso en el contexto radiológico se han definido las unidades radiológicas, que son un conjunto de magnitudes y unidades que permiten cuantificar y evaluar los niveles de radiación ionizante a los que son expuestos los seres vivos.

1.1. Clasificación de las magnitudes radiológicas

La ICRU (Comisión Internacional de Unidades de Medida de la Radiación) y la ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica) son las instituciones encargadas de definir formalmente las **magnitudes** y **unidades dosimétricas**, de manera que su uso permita una cuantificación de las radiaciones ionizantes durante su uso clínico que garantice su aplicación eficiente y ofrezca referencias para la radioprotección.

IMPORTANTE

La legislación europea establece desde 1986 que las mediciones de las RRII se expresen en el sistema internacional (SI).

La publicación ICRU-85 del año 2011 es una de las principales publicaciones que trata de forma genérica las magnitudes y las unidades para describir las radiaciones ionizantes.

1.2. Magnitudes y unidades de dosimetría para conversión de energía

Estas magnitudes miden el efecto de la radiación sobre un elemento a través de la cuantificación de las cargas libres que genera (**exposición, X**) o la energía cinética de las partículas consecuencia de la ionización (**kerma** y **cema**).

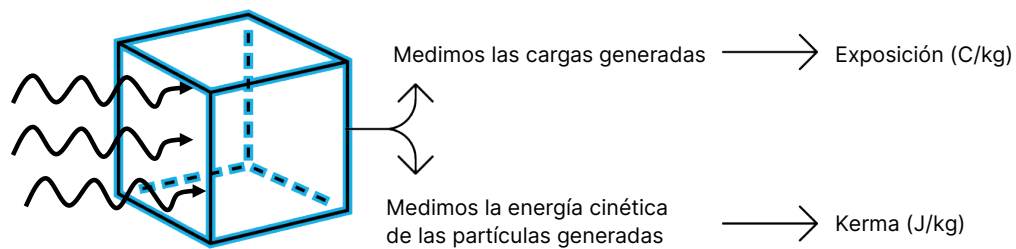


Fig. 1. Esquema de los fenómenos que cuantifican las magnitudes de conversión de la energía.

1.3. Magnitudes de dosimetría para el depósito de energía en un medio

Las magnitudes de dosimetría para el depósito de energía en un medio son la **dosis absorbida** (D) y la **transferencia lineal de energía** (LET), que permiten cuantificar la cantidad de energía que se deposita en un material o tejido al ser irradiado.

La dosis absorbida (D) determina la energía depositada en un volumen de tejido (en grays, Gy); mientras que la LET indica la energía que se va depositando por unidad de longitud (J/m). De forma general, las distintas formas de radiación se categorizan como de alta o baja LET.

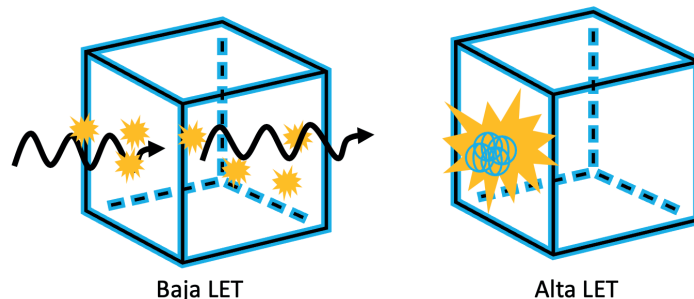


Fig. 2. Esquema de la densidad de ionizaciones de dos tipos de radiación con baja y alta LET.

1.4. Magnitudes de radioprotección

Las magnitudes de radioprotección están basadas en la medición de la energía depositada en órganos y tejidos del cuerpo humano y permiten relacionar la dosis de radiación y el riesgo de padecer efectos adversos. Estas magnitudes tienen en cuenta la diferente eficacia biológica de las radiaciones, así como la diferencia en la radiosensibilidad de órganos y tejidos.

El desarrollo de las magnitudes **dosis equivalente** (H) y **dosis efectiva** (E) ha contribuido de forma importante a la protección radiológica, ya que ha permitido sumar las dosis de la exposición total o parcial tanto a la irradiación externa (de varios tipos) como a la contaminación interna por incorporación de radionucleidos.

La dosis equivalente (H)

» Permite cuantificar los efectos biológicos de una determinada dosis absorbida (D) asociados a un tipo de radiación. Así, se constata que una misma dosis absorbida (D) causa un daño biológico diferente en función del tipo de radiación que la deposita. Por ejemplo, si se irradia un mismo punto con rayos X y con partículas alfa, de manera que en ambos casos se deposite la misma dosis absorbida (D), las partículas alfa causarán mayor daño que los rayos X. La capacidad de causar efectos biológicos asociada a los distintos tipos de radiación se cuantifica a través de factores de calidad (Q). Q es un valor adimensional, por lo que H y D poseen las mismas dimensiones: J/kg , que en este caso recibe el nombre de *siévert* (Sv), en honor al físico sueco Rolf Sievert.



» Así, la dosis equivalente (H) se expresa como:

$$H = Q \cdot D$$

» Donde D es la dosis absorbida y Q es un factor de calidad que indica la efectividad biológica relativa de una radiación ionizante.



» Veamos los factores de ponderación para los diferentes tipos de radiación:

TIPO DE RADIACIÓN	FACTOR DE PONDERACIÓN (W_R)
Fotones (rayos X o rayos γ)	1
Electrones o muones	1
Protones	2
Partículas alfa, fragmentos nucleares	20
Neutrones	Entre 5 y 20 en función de la energía en MeV.

Esquema 1. Magnitudes de dosis equivalente.

La dosis efectiva (E)

» La dosis efectiva (E) es la magnitud que se introdujo para definir los límites de dosis que minimizasen la probabilidad de aparición de efectos clínicos teniendo en cuenta la radiosensibilidad de cada órgano.



» Su unidad es el *siévert*, Sv (J/kg) y su ecuación tiene en cuenta los efectos asociados al tipo de radiación, así como la radiosensibilidad particular del tejido irradiado, expresándose como:

$$E = H \cdot w_T ; \text{ y por tanto, } E = D \cdot Q \cdot w_T$$

Donde w_T es el factor de ponderación para el órgano o tejido (τ), que representa la contribución relativa de ese órgano o tejido a la probabilidad total (100 %) de aparición de cáncer resultante de la irradiación uniforme de todo el cuerpo, y H es la dosis equivalente en el órgano o tejido.



Veamos los factores de ponderación para los diferentes órganos:

TEJIDO U ÓRGANO	FACTOR DE PONDERACIÓN (w_T)	$\Sigma (w_T)^*$
Médula, colon, pulmón, estómago y mamas	0,12	0,72
Testículos y ovarios	0,08	0,08
Tiroides, esófago, vejiga e hígado	0,04	0,16
Superficie ósea, piel, cerebro y glándulas salivares	0,01	0,04

» La condición de normalización es que $\Sigma (w_T) = 1$. Fuente: ICRP 103, 2007.

Esquema 2. Magnitudes de dosis efectiva.

1.5. Magnitudes operacionales

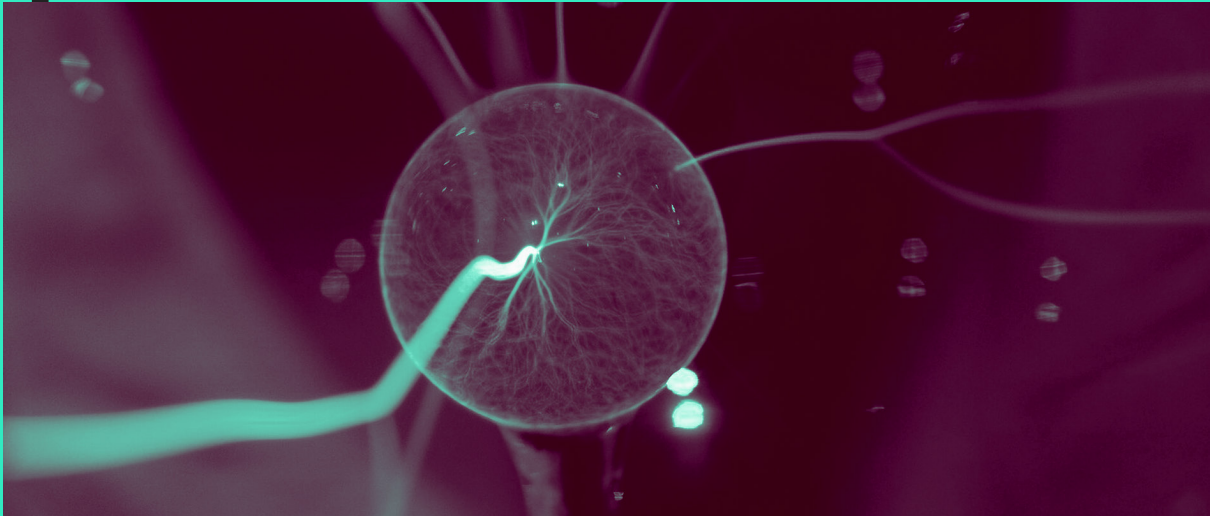
La dosis equivalente y la dosis efectiva no pueden ser medidas directamente en los tejidos del cuerpo, por ello, como recurso de protección se incluyen magnitudes operacionales que pueden medirse mediante maniqués de un material equivalente al tejido biológico (denominado esfera ICRU) o detectores superficiales, y a partir de las cuales pueden evaluarse la dosis equivalente y la dosis efectiva. Para la vigilancia del área se han introducido dos magnitudes que relacionan la irradiación externa con la dosis efectiva y con la dosis en la piel y el cristalino: el equivalente de dosis ambiental, $H^*(d)$, y el equivalente de dosis direccional, $H'(d, \Omega)$; mientras que para la vigilancia individual se recomienda el uso del equivalente de dosis personal, $H_p(d)$.



Fig. 3. Dosímetro de anillo para medir el equivalente de dosis personal en las manos.

La ICPR propuso un importante principio de optimización denominado principio ALARA; acrónimo de *As Low As Reasonably Achievable*, que establece que todas las exposiciones de seres vivos que no estén justificadas deben evitarse y las que no puedan evitarse deben ser tan bajas como razonablemente sea posible.

1 CASO PRÁCTICO



MAGNITUDES Y UNIDADES RADIOLÓGICAS EN EL SISTEMA INTERNACIONAL

La descripción y comprensión de las diferentes magnitudes radiológicas suele suponer un desafío para los estudiantes que se incorporan a sus prácticas hospitalarias.

Para facilitar este proceso, elabora una tabla-resumen que a modo de «tarjeta de bienvenida» pueda entregarse a tus compañeros y compañeras cuando accedan a las prácticas para que así dispongan de un recurso de consulta rápida.

La tabla-tarjeta resumen debe incluir:

- » Nombre de la magnitud.
- » Definición.
- » Unidad de medida.
- » Expresión matemática.
- » Objeto de medición.

Esta tabla puede imprimirse en gran formato y presentarse tipo póster en el servicio de radiología (o en el aula de clase...).

SOLUCIÓN

MAGNITUD	DEFINICIÓN	UNIDADES	EXPRESIÓN	OBJETO DE MEDICIÓN
Exposición	Ionización producida en un volumen de aire por la radiación incidente.	C/kg	$X = \frac{dQ}{dm}$	Estimación del efecto de la radiación ionizante sobre la materia.
Kerma	Energía cinética liberada por unidad de masa.	J/kg (Gy)	$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$	Evaluar el efecto de las radiaciones ionizantes no cargadas (neutrones y fotones) al interactuar con la materia.
Cema	Energía convertida por unidad de masa.			Análoga al kerma, se emplea cuando la radiación incidente consiste en partículas ionizantes cargadas.
Dosis absorbida (D)	Cociente de la energía media impartida ($d\bar{\epsilon}$) a la unidad de masa de un volumen considerado (dm).		$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$	Medida válida para cualquier tipo de radiación (con o sin carga) y aplicable tanto a los campos de radiación producidos por fuentes externas al organismo como a los procedentes de fuentes internas. Requiere especificar el medio material al que la radiación transfiere la energía.
LET	Transferencia lineal de energía: la energía transferida por unidad de longitud.	J/m o keV/ μ	$L_{\Delta} = \frac{dE_{\Delta}}{dx}$	Cantidad de energía depositada por la radiación en el medio continuo que es atravesado por ella.
Equivalente de dosis en un punto (H)	Producto de la dosis adsorbida en un punto (de interés) de un tejido, multiplicado por el factor de calidad Q correspondiente en dicho punto.	J/kg (Sv)	$H = Q \cdot D$	Diferentes efectos biológicos de las radiaciones ionizantes (a bajos niveles de exposición), considerando el material (o tejido) y el tipo de radiación.
Dosis equivalente en un órgano (HT, R) equivalente en un órgano (HT, R)	Valor promedio de dosis absorbida de radiación D (tipo R, en un tejido T) en un órgano y no en un punto aislado.		$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$ $H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$	Cuantificar las implicaciones biológicas.
Dosis efectiva (E)	Definir los límites de dosis que minimizasen la probabilidad de aparición de efectos clínicos.		$E = \sum_{TR} w_T \cdot w_R \cdot D_{T,R}$	Efectos probables para la salud resultantes de la exposición a la radiación ionizante en función de la dosis absorbida y la sensibilidad.

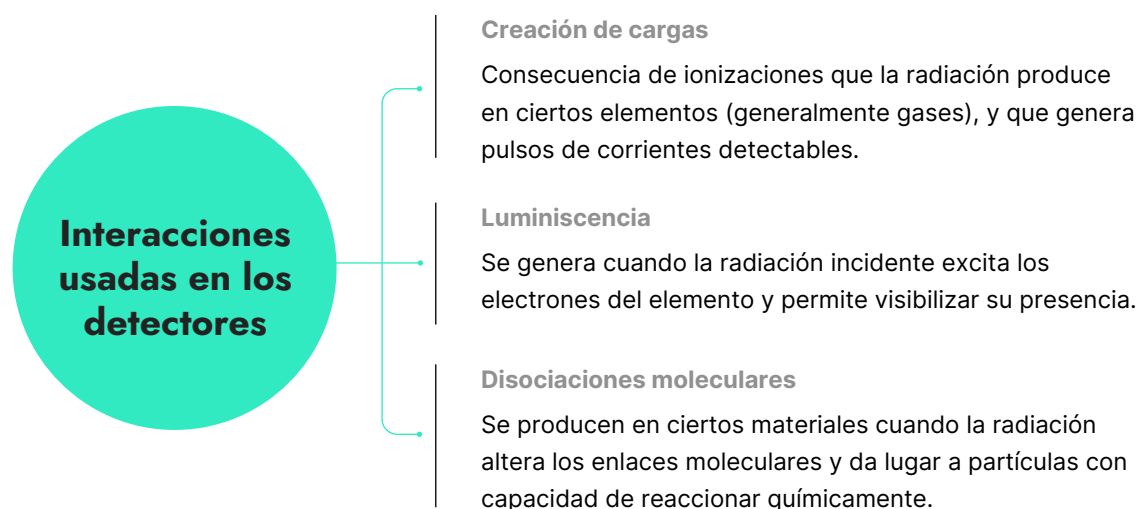
02 Detección y medida de la radiación

La detección y medida de la radiación se realiza a través de detectores. Existen varios tipos de detectores, que están diseñados para aprovechar los diferentes fenómenos derivados de la interacción entre la radiación y algunos de los materiales sensibles del detector, de manera que permiten cuantificar esta interacción y proporcionan una medida representativa de la dosis.



Fig. 4. Monitor de área (cámara de ionización).

Los fenómenos derivados de la interacción radiación-materia que se pueden aprovechar son:



Esquema 3. Interacciones usadas en los detectores.

A la hora de seleccionar un sistema de detección hay que considerar que su respuesta puede variar en función de factores como el tipo de energía, la actividad, la geometría o las condiciones ambientales de la medida.

Dado que solo una parte de la radiación emitida por la fuente lo hace en la dirección del detector, **no existe un detector totalmente infalible**, por lo que sus características resultan clave en la medición.

Las características más destacables que debe cumplir un detector son:

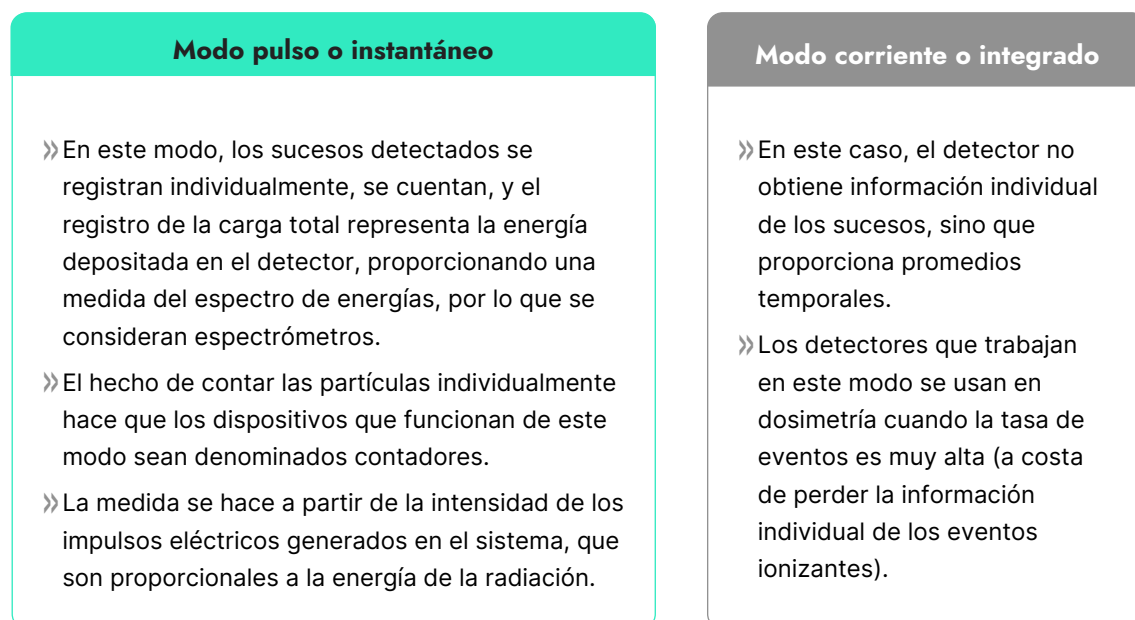
Eficiencia	Determina la fracción de radiación detectada a partir del número de pulsos de corriente que genera el detector. Puede ser una eficiencia absoluta, si el número de pulsos se relaciona con el número de fotones emitidos por la fuente, o una eficiencia intrínseca, si los pulsos se corresponden con los fotones que alcanzan el detector.
Resolución temporal	Se corresponde con la frecuencia de muestreo del detector y depende de su capacidad para generar señales entre eventos. Existe un tiempo mínimo (tiempo muerto) durante el cual el detector no puede generar señales por estar procesando otras.
Resolución de energía	Es la capacidad del detector para diferenciar valores de energía muy próximos.
Sensibilidad	Es la capacidad que permite detectar distintos tipos de radiaciones a partir de bajas intensidades y en un rango amplio.
Linealidad de respuesta	Supone que la señal generada es proporcional (linealmente) a la cantidad de radiación incidente.
Exactitud y precisión en la medida	La exactitud implica que el detector ofrece una medida que se corresponde con el valor real de la radiación, mientras que la precisión hace referencia a la necesidad de que las medidas se desvíen lo mínimo posible de este valor real.
Económicamente asequible	Existen grandes diferencias entre los precios de los distintos detectores, y en ciertos casos el coste puede suponer un factor limitante en su adquisición, por lo que debe tenerse en cuenta la relación coste/uso.

2.1. Modos de funcionamiento de los detectores

Los diferentes diseños y usos permiten clasificar a los detectores en distintas categorías en relación con determinadas características, entre ellas estarían:

- » El **principio físico o químico empleado** para la detección (ionización gaseosa, centelleo, semiconductor, película, termoluminiscente).
- » Si el **resultado del proceso de medida** es simultáneo a la irradiación o la lectura del detector se lleva a cabo con posterioridad.
- » Los dosímetros pueden clasificarse también por el hecho de **emplear, o no, baterías en su funcionamiento** (activos o pasivos).
- » Así mismo, se puede considerar si la **señal generada** se obtiene de forma directa a partir de la interacción con la radiación (como en una cámara de ionización), o bien se produce algún otro proceso físico intermedio, en cuyo caso este detector sería indirecto.

La variedad de detectores permite usos diferentes: dosimetría de haz, monitoreo de área, monitores de contaminación y dosimetría personal. En base a sus usos, los detectores operan de diferentes modos:



Esquema 4. Modos de operación de un detector.

2 CASO PRÁCTICO



PRINCIPIOS FÍSICOS BÁSICOS DE LA DETECCIÓN

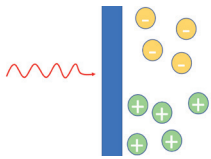
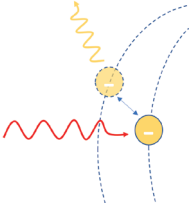
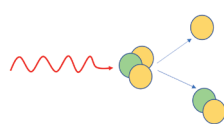
Los distintos detectores basan su funcionamiento en la detección y cuantificación de determinados fenómenos de interacción con la materia. Para su comprensión resulta útil realizar un esquema o un dibujo sencillo que represente los pasos en los cuales se produce esta interacción.

¿Podrías enumerar cuáles son estos procesos de interacción y representarlos?

SOLUCIÓN

Se dan los siguientes procesos de interacción:

REPRESENTACIÓN DE LOS PASOS EN LOS QUE SE PRODUCE LA INTERACCIÓN

Creación de cargas		La creación de cargas consecuencia de las ionizaciones que la radiación produce en ciertos elementos, generalmente gases, y que generan pulsos de corriente detectables.
Luminiscencia		La luminiscencia que se genera cuando la radiación incidente excita los electrones del elemento detector y permite visibilizar su presencia.
Disociaciones moleculares		Las disociaciones moleculares que se producen en ciertos materiales cuando la radiación altera los enlaces moleculares y da lugar a partículas con capacidad de reaccionar químicamente.

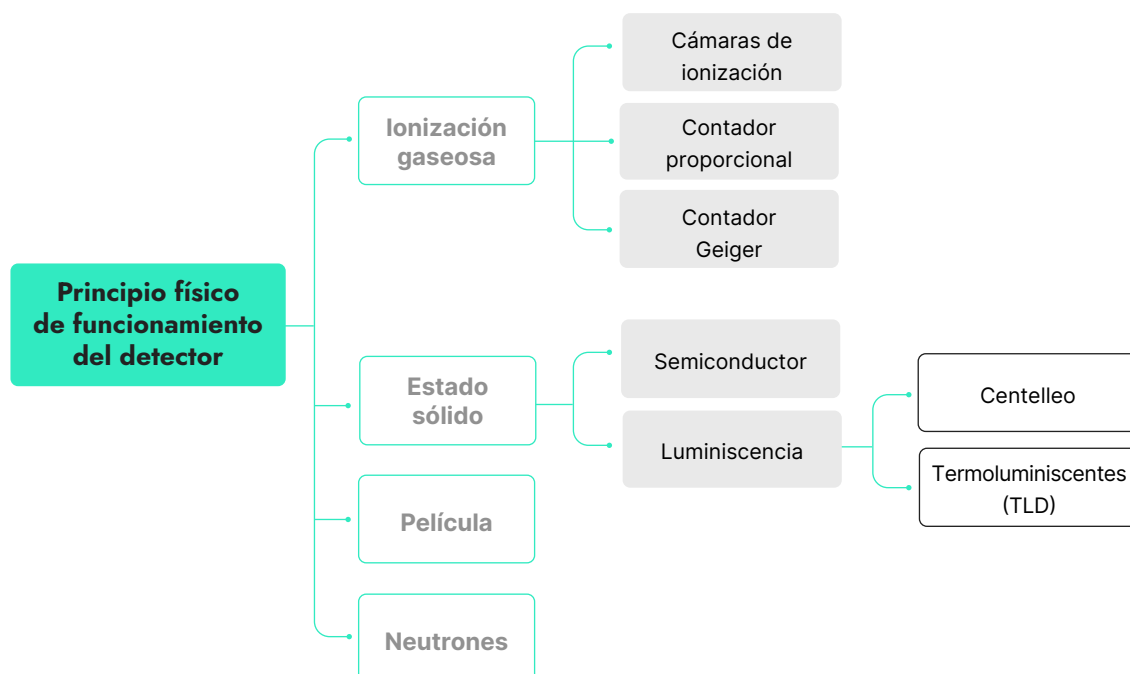
03 Detectores basados en ionización gaseosa

Aunque los mecanismos básicos de interacción entre la radiación y la materia son los mismos para cualquier tipo de detector (la radiación modifica la estructura electrónica del elemento detector), los detectores difieren según el elemento expuesto a la interacción (gases o sólidos), así como en el procesamiento de la información que la interacción ha producido. Estas diferencias permiten clasificar a los detectores en distintos tipos.

3.1. Tipos de detectores

A continuación se desarrollan los principios físicos básicos de funcionamiento de los **principales tipos de detectores**. Estos principios sirven como criterio fundamental de clasificación de estos dispositivos.

La **velocidad de desintegración** de un elemento radiactivo se caracteriza por su actividad (A) y se mide en becquerelios (Bq), $1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegración/segundo}$. La actividad es proporcional al número de núcleos, por lo que se cumple que:



Esquema 5. Esquema de clasificación de los diferentes detectores en base a su principio físico de funcionamiento.

A. Detectores basados en ionización gaseosa

La ionización es el fenómeno mediante el cual se producen átomos o moléculas con una carga neta predominante, positiva o negativa (iones).

Los detectores de ionización gaseosa están constituidos por una estructura cerrada que contiene un gas no conductor (generalmente aire, y en ocasiones argón, helio o hidrógeno) sometido a un voltaje que se aplica entre dos electrodos dispuestos de forma característica en función del tipo de detector.

Cuando el detector se expone a la radiación ionizante, se generan iones que bajo la influencia del voltaje al que está sometida la estructura, se dirigen hacia el electrodo de signo contrario, modificando así el potencial existente. El voltaje aplicado, la naturaleza y la presión del gas de llenado, así como el tamaño y la geometría de los electrodos, son factores que influyen en el funcionamiento de los detectores de ionización gaseosa.

Se describen **tres tipos de detectores de ionización gaseosa** en base al voltaje que se aplica entre los electrodos. Este potencial eléctrico permite definir las distintas zonas de funcionamiento de cada uno de ellos, estos son:

La mayoría de los monitores utilizados en la vigilancia de área suelen emplear detectores de ionización gaseosa.

Los detectores de ionización gaseosa se clasifican en tres tipos fundamentales:

- a) Cámaras de ionización.
- b) Contadores proporcionales.
- c) Contador Geiger.

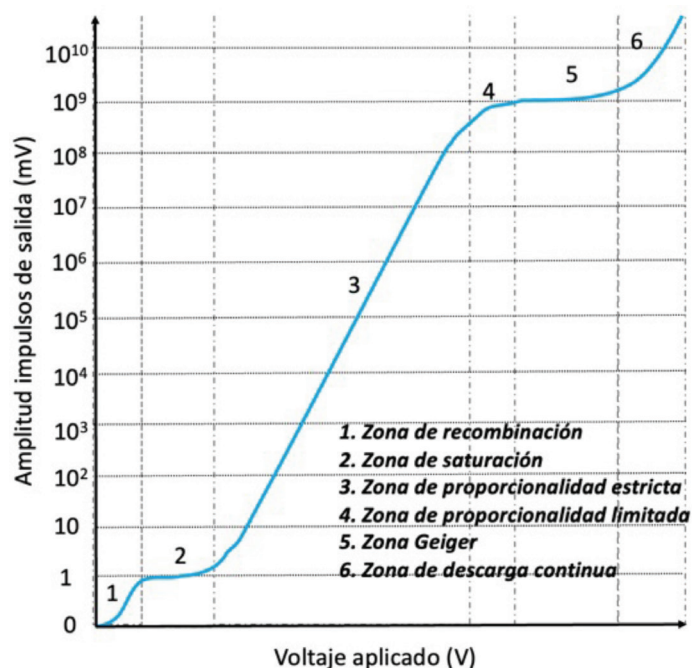


Fig. 5. Zonas de funcionamiento de los detectores de ionización gaseosa en función del voltaje aplicado.

El **rango de voltajes** con los que opera cada uno de los detectores condiciona el comportamiento de los iones producidos por la radiación, así como el tipo de medida que proporciona el detector. Los fenómenos a los que se refiere el gráfico son:

Recombinación	El voltaje es tan bajo (hasta 100 V) que los iones generados se recombinan y, por tanto, no puede colectarse una carga representativa.
Saturación	Hace referencia al estado en el que las cargas no pueden recombinarse y alcanzan los electrodos (100-400 V).
Proporcionalidad	El incremento progresivo del voltaje genera un efecto multiplicador en el gas, que implica que los electrones libres pueden generar nuevos iones al ser acelerados por el campo eléctrico. La linealidad entre la carga colectada y el número de iones primarios se pierde en la zona de proporcionalidad limitada.
Zona Geiger-Müller	La elevada tensión implica un factor de multiplicación muy elevado, independiente del número de iones primario ocasionado como consecuencia de las denominadas avalanchas de electrones.
Descarga continuada	El detector se hace inestable y genera descargas en cadena semiautónomas.

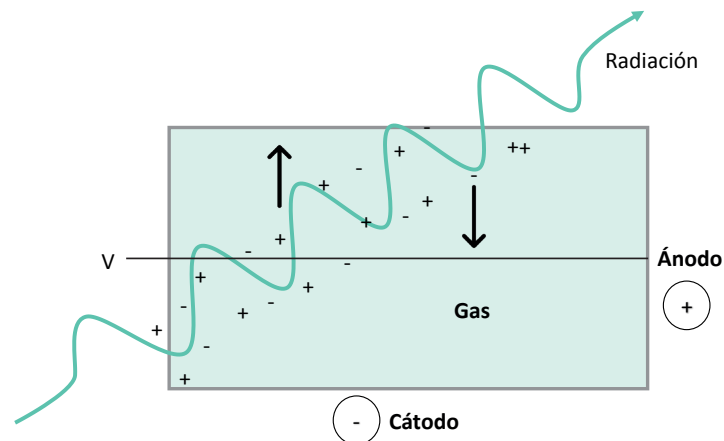


Fig. 6. Esquema básico del diseño de una cámara de ionización.

B. Detectores de estado sólido

Este tipo de detectores no emplea gases, como en el caso de las cámaras de ionización, sino que el **medio empleado** para la interacción con la radiación se encuentra en **estado sólido**. La estructura cristalina y la organización en los niveles de energía de los átomos que forman estos materiales determinan su conductividad eléctrica, que puede explicarse mediante la teoría de bandas.

El funcionamiento de los detectores que emplean sólidos semiconductores es similar al de las cámaras de ionización, salvo que en este caso (el de los semiconductores) no se ioniza un gas, sino que la energía de ionización produce pares-hueco (electrones e iones), que sometidos a un campo eléctrico en el detector pueden modificar su nivel de energía en el material semiconductor (en muchos casos, silicio o germanio) y ser registrados.



CLAVES Y CONSEJOS

La energía necesaria para generar ionizaciones en el semiconductor es mucho menor que la que se requiere para ionizar un gas, por lo que presentan mejor eficiencia en la detección, en el tiempo de respuesta y en la resolución de energía. Dentro de estos detectores estarían los detectores semiconductores.

C. Detectores basados en la luminiscencia

Estos detectores aprovechan la capacidad de ciertos materiales para **emitir luz** cuando son expuestos a ciertas energías. La luz emitida es consecuencia de la excitación y reemisión de la energía por parte del material detector.

El **tiempo que transcurre entre la excitación del material y la emisión de luz es variable**, permitiendo diferenciar los fenómenos físicos de fluorescencia (la emisión de luz es inmediata a la excitación) y fosforescencia (el plazo de reemisión de luz es largo, horas o días). Este periodo de tiempo condiciona también el diseño del tipo de detector:

Detectores de centelleo

En ellos, el cristal centelleador (luminiscente) convierte rápidamente los fotones en luz visible, o UV, que secundariamente genera electrones en el fotocátodo y que serán amplificados en el fotomultiplicador para generar una señal válida.

Detectores termoluminiscentes (TLD)

La desexcitación se produce en el largo plazo tras proporcionar calor al material. Estos materiales se caracterizan por tener un elevado número de impurezas incorporadas artificialmente (trampas de electrones) en su estructura, que retienen los electrones generados por la interacción con la radiación. Cuando un electrón es atrapado en una trampa, para recuperar su estado necesita un aporte de energía externa, que en el caso de los TLD se produce por calentamiento en una máquina lectora. Son los dosímetros empleados para el control dosimétrico personal.

Esquema 6. Detectores de funcionamiento basados en la luminiscencia.

D. Detectores de película

Estos detectores basan su funcionamiento en los cambios producidos por la radiación incidente sobre una película radiográfica cubierta de una emulsión fotosensible. Esta emulsión suele ser una mezcla de halogenuros de plata.

E. Detectores de neutrones

Las características físicas de los neutrones les permiten atravesar grandes espesores sin interactuar con la materia, lo que dificulta su detección, por lo que generalmente tienen que convertirse en partículas cargadas antes de poder detectarse. Para ello, los detectores de neutrones emplean materiales que generan reacciones nucleares y dan lugar a estas partículas cargadas; por ejemplo, protones o partículas alfa, ya detectables si el detector de neutrones lleva acoplado alguno de los tipos de detectores que se han descrito en epígrafes anteriores.



Fig. 7. Detector de neutrones.

La siguiente tabla recoge las principales características de funcionamiento, usos y observaciones de los distintos tipos de detectores:

TIPO DE DETECTOR	FUNCIONAMIENTO	USO	MODO	OBSERVACIONES
Cámara de ionización	Ionización del gas (zona de saturación).	Detección de partículas, eficiencia 100 %, y muy baja para fotones (1 %). Buen dosímetro gamma para altas energías.	Modo corriente y activo.	Geometría cilíndrica o plana.
Contador proporcional	Ionización del gas (zona de proporcionalidad estricta).	Buen monitor de radiación y espectrómetro por su capacidad para discriminar partículas de energías diferentes.	Modo pulso y activo.	Geometría cilíndrica con el ánodo ubicado a lo largo del eje (cable fino).
Contador Geiger	Ionización del gas (zona Geiger).	Son solo monitores contadores, no espectrómetros. Baja eficiencia gamma, 1-2 %, y 100 % β .	Modo pulso y activo.	Su uso se destina a tasas de conteo relativamente bajas por su largo tiempo muerto.
Detectores de estado sólido (semiconductores)	Por producción pares-hueco en el material.	Espectroscopia alfa y gamma. Dosimetría personal (fotones y β) en ciertos países.	Modo pulso y activo.	Geometría planar y de pequeño tamaño. Se degradan por el uso y tienen un coste elevado. Requieren gran pureza de los semiconductores.
Detectores de centelleo	Por luminiscencia (fluorescencia).	Excelente eficiencia de detección gamma. Permite altas tasas de conteo de fotones. En función del material se pueden usar también para la detección de partículas alfa y β .	Modo pulso activo.	Amplia gama de formas y tamaños. Presentes en las gammacámaras y también empleados en monitoreo personal y ambiental. Coste asequible.
Detectores TLD	Por termoluminiscencia (fosforescencia estimulada por calentamiento).	Dosimetría personal y de área.	Pasivos de lectura indirecta.	Amplia gama de formas y tamaños, reutilizables y duraderos. La medida puede afectarse por la radiación de fondo, la temperatura y la humedad.
Detectores de película	Respuesta fisicoquímica de una emulsión a la exposición de rayos X.	Dosimetría personal. Control de presencia de radiación en el ambiente.	Pasivos de lectura indirecta.	Recurso simple y de bajo coste. Sensibles a las condiciones ambientales y no reutilizable.
Detectores de neutrones	Conversión de los neutrones en partículas cargadas.	Monitores de radiación ambiental y personal.	Modo pulso activo.	Suelen presentar geometrías esféricas o cilíndricas.

Tabla 1. Características generales de los principales tipos de dosímetros.

3.2. Registro de los datos dosimétricos

Un dosímetro es un instrumento que permite medir la dosis de radiación ionizante. Existe una gran variedad de dosímetros, por lo que es importante seleccionar el más adecuado en función del uso previsto.

MONITORES DE ÁREA O DE RADIACIÓN AMBIENTAL

- » Incluye los detectores que se usan en la vigilancia y control de las zonas o áreas de trabajo, para garantizar que los profesionales o el público no superan los límites de las dosis efectivas (E) y equivalentes (H).
- » También se usan para evaluar blindajes, y en radioterapia para la localización de las fuentes tras los tratamientos de braquiterapia. Deberían proporcionar medidas de las magnitudes equivalentes de dosis ambiental, $H_p(d)$, y direccional (H^*) en Sv.
- » Los monitores de área suelen ser cámaras de ionización o contadores Geiger. Deben medir tanto la radiación beta como la gamma y cuentan con un indicador luminoso o acústico que avisa en caso de superar cierto valor límite.

MONITORES DE CONTAMINACIÓN

- » La contaminación se produce cuando un elemento radiactivo entra en contacto o impregna una superficie, y supone un riesgo especialmente importante cuando se emplean isótopos no encapsulados, como por ejemplo en medicina nuclear o en ciertos procedimientos de braquiterapia para la detección de fuentes.
- » Los monitores de contaminación suelen ser contadores proporcionales, contadores Geiger, de centelleo o semiconductor.
- » Estos detectores suelen ser portátiles y miden la actividad (en Bq) y la actividad por superficie (Bq/cm²), así como las cuentas por unidad de tiempo o por unidad de tiempo y superficie.
- » En algunas instalaciones radiactivas estos monitores son fijos y se encuentran ubicados en los puntos de salida para controlar que el personal que sale de la instalación no está contaminado.

DOSIMETRÍA DE HAZ

- » Estos dosímetros son los que se emplean para cuantificar la dosis absorbida (en Gy) que depositan los haces de radiación conformados y con gran tasa de fluencia.
- » En general, son sistemas formados por cámaras de ionización (para fotones y electrones) incorporados en los aceleradores lineales.
- » También pueden usarse películas radiográficas para la verificación de los tratamientos y para medir la dosis en radioterapia.

DOSIMETRÍA PERSONAL E IN VIVO

- » Estos dosímetros suelen ser termoluminiscentes (TLD) y se emplean para el control y vigilancia de las dosis equivalentes y efectivas que reciben los trabajadores.
- » Estos dosímetros son los denominados «de solapa», aunque se diseñan también en forma de anillo o para ponerlos en la patilla de las gafas.
- » Miden dosis equivalentes personales (H_p) profundas, a 10 mm, y superficiales, a 0,07 mm, cuyo rango, en condiciones normales, está entre los $\mu\text{Sv/h}$ - mSv/h .
- » También pueden usarse detectores de semiconductores que acoplados a los sistemas electrónicos permiten la lectura directa de la tasa de dosis (profunda o superficial).

DOSIMETRÍA INTERNA

- » La dosimetría interna determina la dosis absorbida por ciertos órganos expuestos a elementos radiactivos.
- » En el contexto clínico se asocia a la medicina nuclear y al depósito que el radiofármaco produce sobre el órgano diana.
- » La dosimetría interna presenta mayores dificultades en su determinación y requiere de cálculos y simulaciones verificados con medidas en maniqués, realizadas fundamentalmente con dosímetros semiconductores y de ionización. Las estimaciones se realizan sobre todo en casos de contaminación interna sobre las medidas obtenidas de las excretas (orina, sobre todo, y heces) del individuo afectado.

De forma general, en el contexto radiológico se diferencia entre dosimetría personal, cuando es necesario medir la dosis recibida por un individuo, y dosimetría de área, cuando las medidas de interés se realizan sobre un lugar o zona de trabajo.

Por otra parte, un monitor de radiación es un dosímetro destinado a la vigilancia y control radiológico de superficies, personas o procedimientos.

Por tanto, la diferenciación conceptual entre dosímetro y monitor podría residir en el objetivo final de su uso: se hace referencia a un dosímetro cuando la finalidad es registrar una medida, mientras que nos referimos a un monitor cuando la finalidad es un proceso de vigilancia o control del nivel de radiación.

Los diferentes detectores de uso en el contexto hospitalario permiten registrar monitoreo de área, monitoreo de contaminación, medidas de dosimetría de haz y dosimetría personal e interna.

IMPORTANTE**VÍDEOLAB**

Para consultar el siguiente vídeo sobre los dosímetros y su importancia, escanea el código QR o [pulsa aquí](#).

3 CASO PRÁCTICO



ELECCIÓN DE DETECTORES

Te piden consejo respecto a la organización de la protección radiológica para un servicio de radiología que cuenta con equipos de radiología convencional y un PET.

Elabora un pequeño listado del material (detectores) que consideras necesario con una breve justificación en función de su utilidad (dosimetría de área, personal, etc.).

SOLUCIÓN

Detectores necesarios para un servicio con radiología convencional y PET:

- » Para la dosimetría personal: obligatorio para todos los trabajadores expuestos a RRIL.
 - Dosímetro de solapa para todos los procedimientos.
 - Dosímetro de muñeca o anillo para detectar dosis RRIL cuando se manipula el radiotrazador.
- » Para la dosimetría de área: puede utilizarse un dosímetro de las mismas características que el de dosimetría personal y debe colocarse todos los meses en un punto definido por el responsable de protección radiológica de la instalación, así como ser representativo de la dosis personal que se desea controlar mediante este dosímetro.
- » Monitor de área para medida continua en la cámara caliente donde se prepara el radiofármaco, con señal de alarma acústica y luminiscente para avisar en el caso de sobrepasar la tasa de dosis programada.
- » Detector para contaminación superficial por posible derrame de radioisótopo; puede ser un contador Geiger o un contador de semiconductor.

X T A R T
FP SALUD