

Curso: “Dosimetría personal externa”

UNIDAD 1. Protección radiológica ocupacional

Conferencia No.1.2

MAGNITUDES Y UNIDADES DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Daniel Molina Pérez
MSc. Ing. Físico Nuclear



FACULTAD DE
CIENCIAS

UDELAR | fcien.edu.uy



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

OBJETIVOS

Comprender las magnitudes (y sus unidades) fundamentales para la
Protección Radiológica y Dosimetría de las Radiaciones Ionizantes

CONTENIDO

- Magnitudes Físicas (fuente, campo, interacción)
- Magnitudes Dosimétricas
- Magnitudes de Protección Radiológica
- Magnitudes Operacionales.

RESUMEN TEMA ANTERIOR

Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes

En el rango de las **dosis bajas** la protección radiológica está principalmente interesada en la **protección contra el cáncer y las enfermedades heredables** inducidos por la radiación.

Efectos estocásticos: naturaleza probabilista, sin umbral, cuya frecuencia de aparición aumenta en proporción a la dosis de radiación

RESUMEN TEMA ANTERIOR

Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes

A **dosis elevadas** y sobre todo en **situaciones de emergencia**, las exposiciones a la radiación pueden causar **efectos deterministas** (reacciones tisulares). Clínicamente observable, aparece por encima de una dosis umbral, el daño depende tanto de la dosis absorbida y de la tasa de dosis, como de la calidad de la radiación

RESUMEN TEMA ANTERIOR

Principios de Protección Radiológica

Justificación

Optimización

Limitación

MAGNITUDES

Consideraciones Generales

Las magnitudes y sus definiciones corresponden a las publicadas por:

- **Comisión Internacional de Unidades y Medidas (ICRU)**
- **Comisión Internacional de PR (ICRP)**

MAGNITUDES FISICAS

(Fuente , Campo e Interacción)

(Orientar como tarea investigativa)

MAGNITUDES DOSIMETRICAS

EXPOSICION

➤ Una de las primeras magnitudes introducidas:

Objetivo inicial: cuantificar la cantidad de radiación emitida por tubos RX, midiendo la ionización producida en aire a determinada distancia.

Es una magnitud dosimétrica que evalúa la intensidad de un campo de radiación electromagnética ionizante (rayos X o gamma) en el aire.

EXPOSICION

Definición:

dQ: es el valor absoluto de la carga eléctrica total de los iones de un mismo signo producida en el aire cuando todos los electrones y positrones liberados o creados por fotones incidentes en una masa de aire dm son completamente frenados en aire.

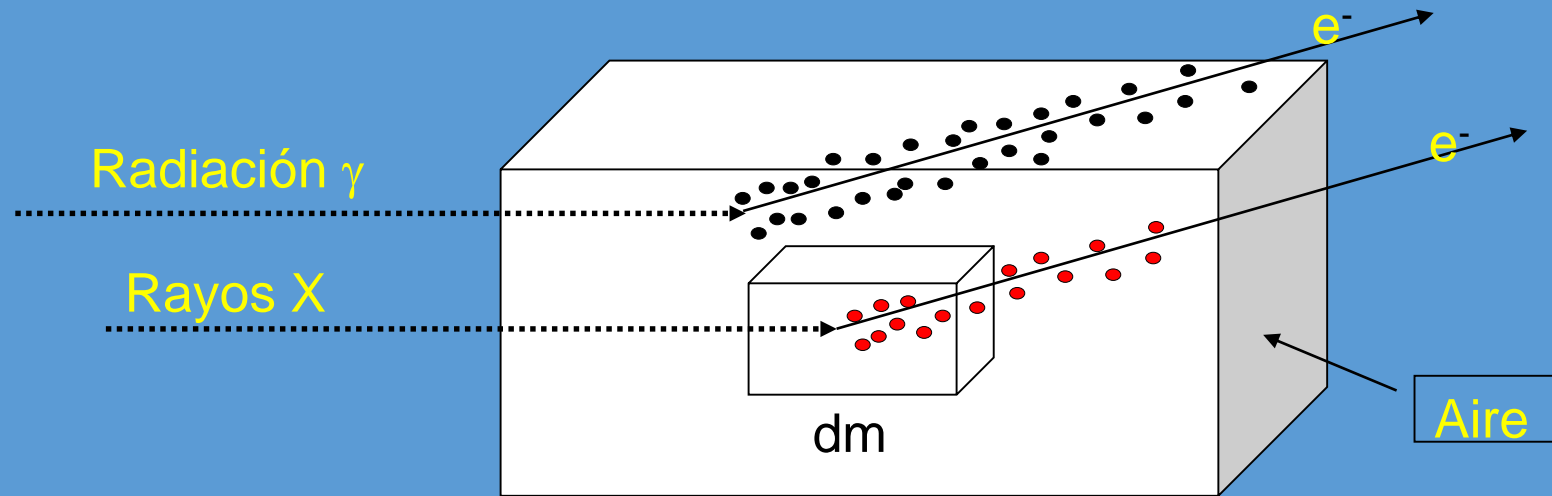
$$X = dQ/dm$$

Unidad: Coulomb /Kg. (C /Kg.)

Unidad antigua de exposición: Roentgen (R)

$$1R = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

EXPOSICION



$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Unidad
C. kg⁻¹

$$1R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C.kg}^{-1}$$

TASA DE EXPOSICION

$$\dot{X} = dX/dt \quad \text{Unidad: R/ s, R/hr}$$

dX: es la variación de la tasa de exposición en el intervalo de tiempo dt

KERMA

Es una magnitud que cuantifica la transferencia de energía de las radiaciones indirectamente ionizantes a las partículas cargadas que se generan en el medio.

Definición: es la suma de las energías cinéticas iniciales de todas las partículas ionizantes cargadas, liberadas por partículas ionizantes sin carga en una masa dm de un material específico.

$$K = dE_{tr} / dm$$

La unidad de esta magnitud es J/kg , recibe el nombre de Gray (Gy)

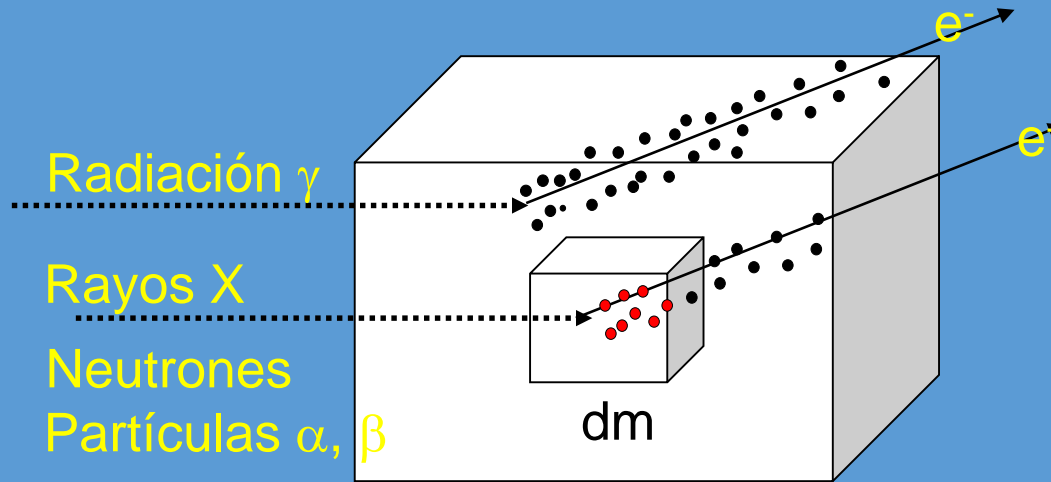
KERMA

- Se define para partículas no cargadas de RI (fotones, neutrones).
- Se define para cualquier material.
- Parte de E transferida puede depositarse en el medio mediante procesos de ionización y excitación, otra parte puede escapar en forma de fotones
- Cobra importancia durante la operación de calibración.
- Describe el primer paso en la disipación de energía por radiación indirectamente ionizante como fotones y neutrones como la energía transferida a partículas cargadas.

DOSIS ABSORBIDA

- Es la magnitud que permite cuantificar la energía depositada a la materia por las radiaciones ionizantes.
- Definición: es la energía impartida media por la RI a un material de masa dm , dividida por la masa dm .

DOSIS ABSORBIDA



Energía impartida

$$D = \frac{dE}{dm}$$

Unidad: **J/Kg, se denomina Gray (Gy)**
1 Gy = 1 J/kg = 100rad

DOSIS ABSORBIDA

- La *dosis absorbida* es una magnitud física fundamental, se define para todos los tipos de radiación ionizante y cualquier material.
- Cuanto más tiempo la masa en cuestión se mantenga sumergida en un campo de radiación mayor será la *dosis absorbida*.

RELACION ENTRE DOSIS ABSORBIDA Y KERMA

- Bajo determinadas condiciones la Dosis Absorbida (D) puede obtenerse a partir de la Kerma (K) (Equilibrio de partículas cargadas)

$$D \approx K (1 - g)$$

g – fracción de la E_c de los e- liberados por los fotones que se pierde en procesos radiactivos (ejemplo: fotones de frenado)

Si esta fracción es depreciable entonces $D \approx K$

Esta suposición se cumple para fotones de hasta algunos MeV

RELACION ENTRE DOSIS ABSORBIDA Y KERMA

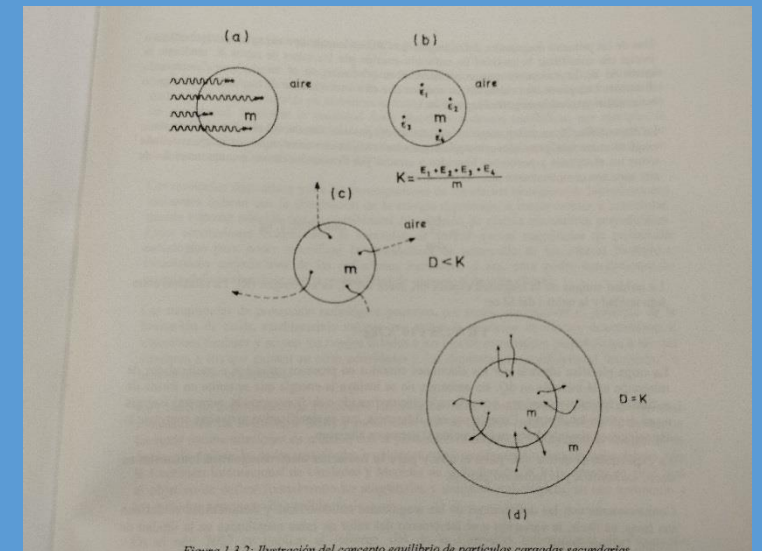
Equilibrio de partículas cargadas

Consisten en lograr que toda la E de las partículas cargadas producidas por la radiación incidente (indirectamente ionizante) se deposite en el volumen de material de interés.

COMO

Rodear el volumen del material m con una capa adicional del material (no modifique el campo incidente y la irradiación sea uniforme).

Capa de equilibrio: espesor igual alcance de partículas cargadas e-



RELACION ENTRE DOSIS ABSORBIDA Y EXPOSICION

$$X = D_{\text{aire}} / 8,69E -3 \text{ (R/Gy)}$$

Esta expresión permite conocer la dosis absorbida en aire conociendo el valor de la exposición

$$1\text{R} = 0,01 \text{ Gy} = 1 \text{ rad}$$

$$1\text{mR} = 0.01 \text{ mGy} = 1 \text{ mrad}$$

MAGNITUDES Y UNIDADES EN DOSIMETRIA

MAGNITUD	REPRESENTACION	UNIDAD
EXPOSICIÓN	$X=dQ/dm$	$C \cdot kg^{-1}$
TASA DE EXPOSICIÓN	$\dot{X}=dX/dt$	$C \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$
KERMA	$K=dE/dm$	$J \cdot kg^{-1} (Gy)$
TASA DE KERMA	$\dot{K}=dK/dt$	$J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} (Gy \cdot s^{-1})$
DOSIS ABSORBIDA	$D=dE/dm$	$J \cdot kg^{-1} (Gy)$
TASA DE DOSIS ABSORBIDA	$\dot{D}=dD/dt$	$J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} (Gy \cdot s^{-1})$

Magnitudes y unidades en Protección Radiológica

DOSIS ABSORBIDA MEDIA EN UN ORGANNO (D_T)

$$D_t = \frac{E_t}{M_t}$$

E_t es la energía total impartida en un tejido u órgano y M_t es la masa de ese tejido u órgano.

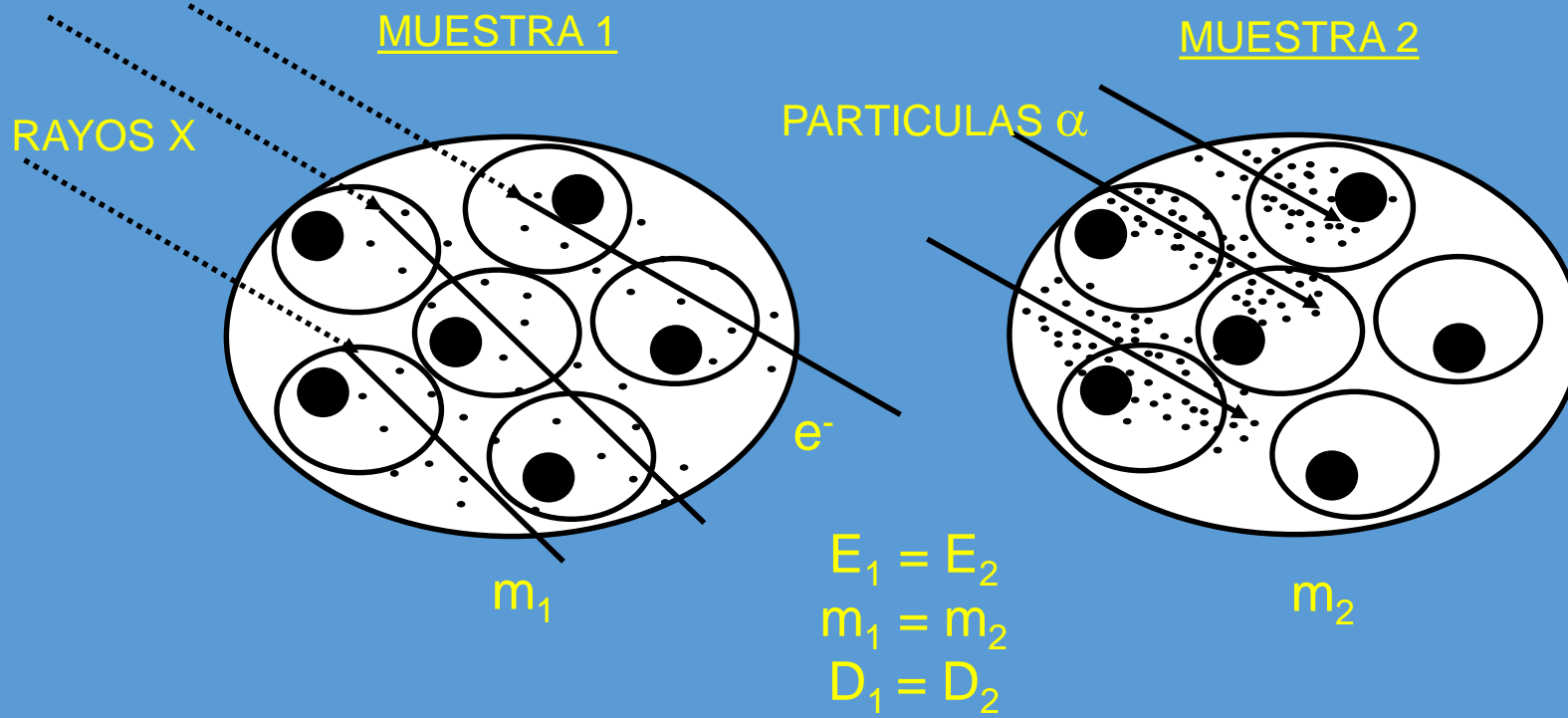
La masa: expresada en **kilogramos (Kg)**, puede variar, por ejemplo:

10 g para los ovarios

70 kg para todo el cuerpo.

La Dosis Absorbida (D) o la Dosis Absorbida media en órgano (D_t) no son magnitudes suficientes en si mismas para caracterizar la probabilidad de daño (detrimento a la salud)

DOSIS EQUIVALENTE



$$W_{r1} \ll W_{r2}$$

DOSIS EQUIVALENTE EN UN ORGANNO (Ht, r)

En protección radiológica es la cantidad utilizada para expresar el riesgo asociado a un determinado tipo de radiación.

$$H_{t,r} = W_r \bullet D_{t,r}$$

$D_{t,r}$: es el promedio de la dosis absorbida en el órgano t y producida por la radiación r

W_r : factor de ponderación de la radiación y se selecciona según el tipo y energía de la radiación.

Es adimensional y normalizado con fines de protección radiológica.

Refleja la Efectividad Biológica en la producción de efectos estocásticos a bajas dosis.

DOSIS EQUIVALENTE EN UN ORGANNO (Ht, r)

Unidad

La unidad de dosis equivalente es J/Kg. , se denomina **Sievert (Sv)**

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/ Kg.}$$

Se define como la dosis absorbida de cualquier radiación que produce los mismos efectos biológicos que 1 Gy de radiación gamma

El sievert reemplaza a la unidad tradicional de dosis equivalente (rem)

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

DOSIS EQUIVALENTE (Ht)

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R}$$

Unidad: J.kg⁻¹ (Sv)

W_R ...Factor de ponderación para la radiación R.

$D_{T,R}$...Dosis absorbida promedio órgano T, radiación R

FACTORES DE PONDERACION

RADIACION Y RANGO ENERGETICO

W_R

Fotones de todas las energías	1
Electrones y muones de todas las energías	1
Neutrones de energías:	
• < 10 keV	5
• de 10 a 100 keV	10
• de 100 keV a 20 MeV	20
• de 2 MeV a 20 MeV	10
• > 20 MeV	5
Protones (no de retroceso) de energía > 2 MeV	5
Partículas alfa, fragmentos de fisión, núcleos pesados	20

DOSIS EQUIVALENTE (Ht)

Factores de Ponderación (ICRP 103)

Tabla 2. Factores de ponderación de la radiación recomendados.

Tipo de radiación	Factor de ponderación de la radiación w_R
Fotones	1
Electrones ^a y muones	1
Protones y piones cargados	2
Partículas alfa ,Fragmentos de fisión, Iones pesados	20
Neutrones	Una función continua de la energía del neutrón (ver Figura 1 y Ecuación. 4,3)

RESUMEN

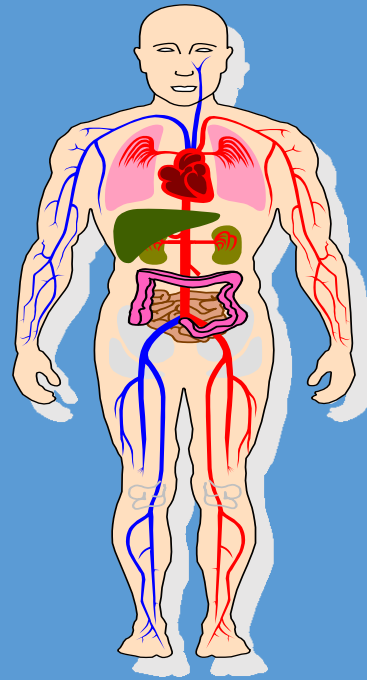
La dosis absorbida solo toma en cuenta la energía de la radiación.

La dosis equivalente toma en cuenta el daño biológico producido por el tipo de radiación

DOSIS EFECTIVA (E)

$$E = \sum_T W_T H_T$$

Unidad: $J.kg^{-1}$ (Sv)



La dosis efectiva, E, es la suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los órganos y tejidos del cuerpo.

H_T ...Dosis equivalente en el tejido T

W_T ...Detrimento relativo relacionado con los efectos biológicos estocásticos en el tejido T

DOSIS EFECTIVA (E)

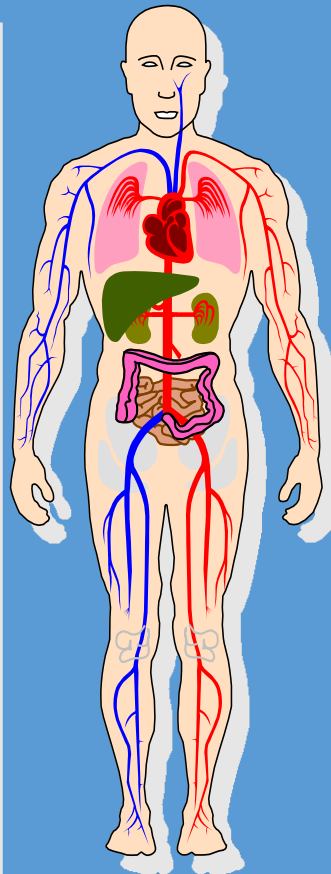
Factor de ponderación de tejido (W_t)

Es un valor que representa la proporción entre el detrimento debido a los efectos estocásticos resultantes de la irradiación del tejido t y el detrimento total debido a los efectos estocásticos cuando se irradia el cuerpo entero uniformemente.

W_t se seleccionaron considerando las diferentes radiosensibilidades de los órganos y tejidos para determinados efectos.

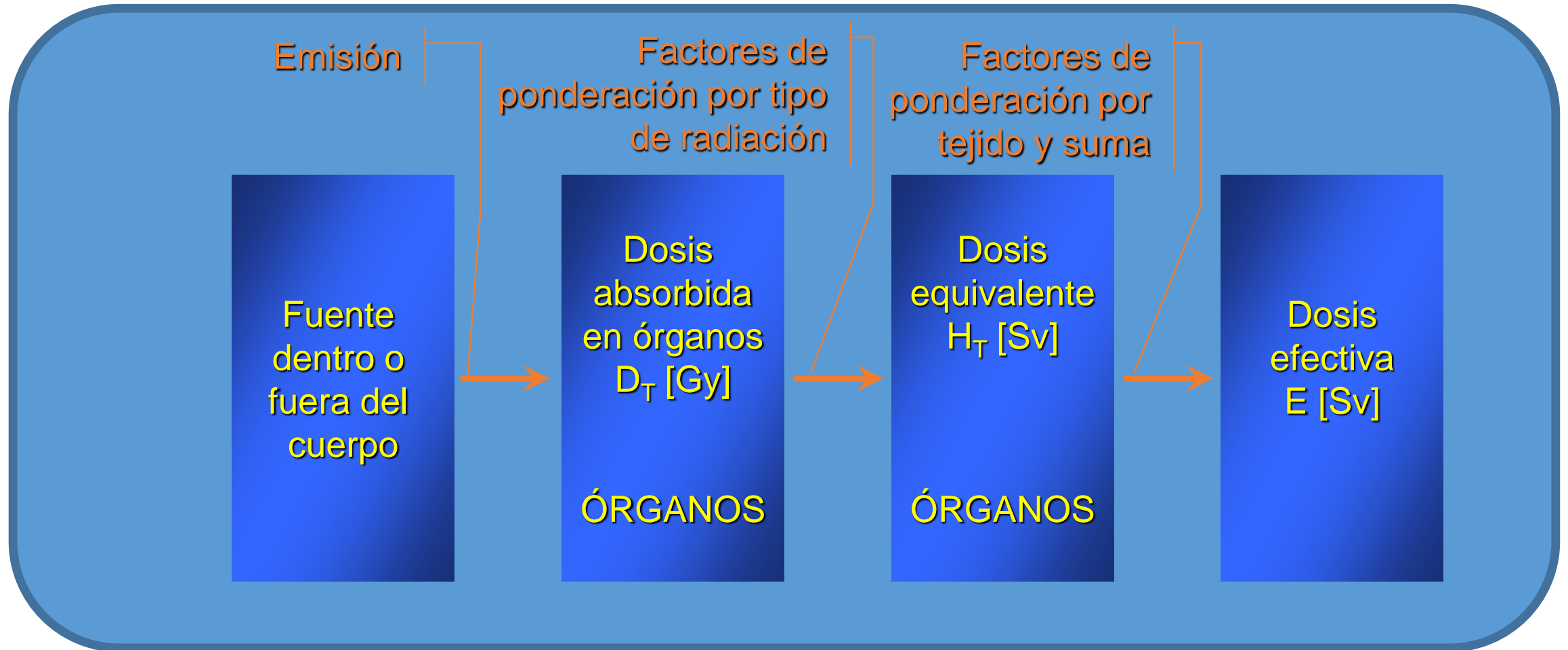
FACTORES DE PONDERACION EN TEJIDOS

<u>TEJIDO</u>	<u>W_T</u>
Gónadas	0.20
Médula ósea roja	0.12
Colon	0.12
Pulmones	0.12
Estómago	0.12
Vejiga	0.05
Mamas	0.05



<u>TEJIDO</u>	<u>W_T</u>
Hígado	0.05
Esófago	0.05
Tiroides	0.05
Piel	0.01
Superficie ósea	0.01
Resto	0.05

RELACION ENTRE MAGNITUDES



MAGNITUDES OPERACIONALES

MAGNITUDES OPERACIONALES

- La dosis equivalente (H) y toda otra magnitud que se derive de ella, no pueden cuantificarse por medición directa, se han desarrollado magnitudes medibles, llamadas operacionales, para su aplicación práctica en PR por irradiación externa
- Permiten una aproximación razonable en la estimación de E y la dosis equivalente en órganos.
- Definición incorpora el concepto del efecto del cuerpo del receptor (persona), modifica el campo incidente.
- Para considerar el grado de penetración de la radiación, se especifican diferentes profundidades

MAGNITUDES OPERACIONALES

Consideraciones prácticas:

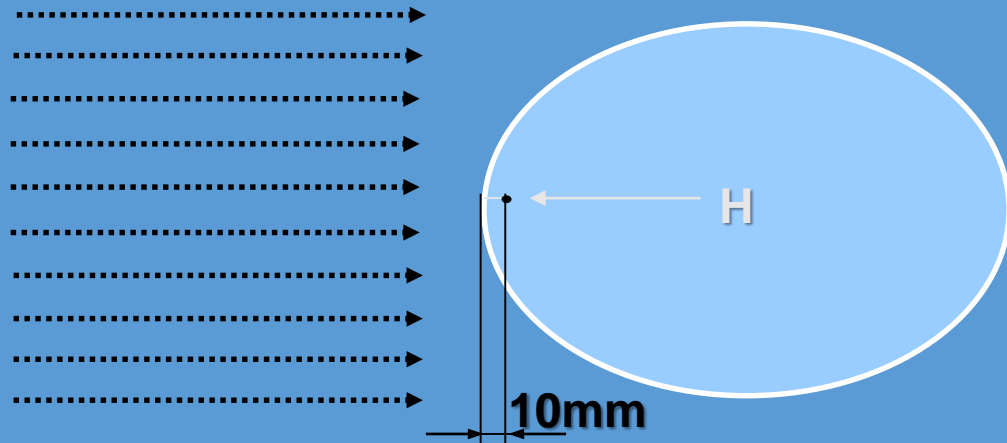
Relacionadas con la respuesta isotrópica y uniformidad de irradiación para los campos de radiación en el punto de medición:

- Campo expandido: conserva la fluencia y distribución espectral y angular.
- Campo alineado: coincide en un dirección.

MAGNITUDES OPERACIONALES

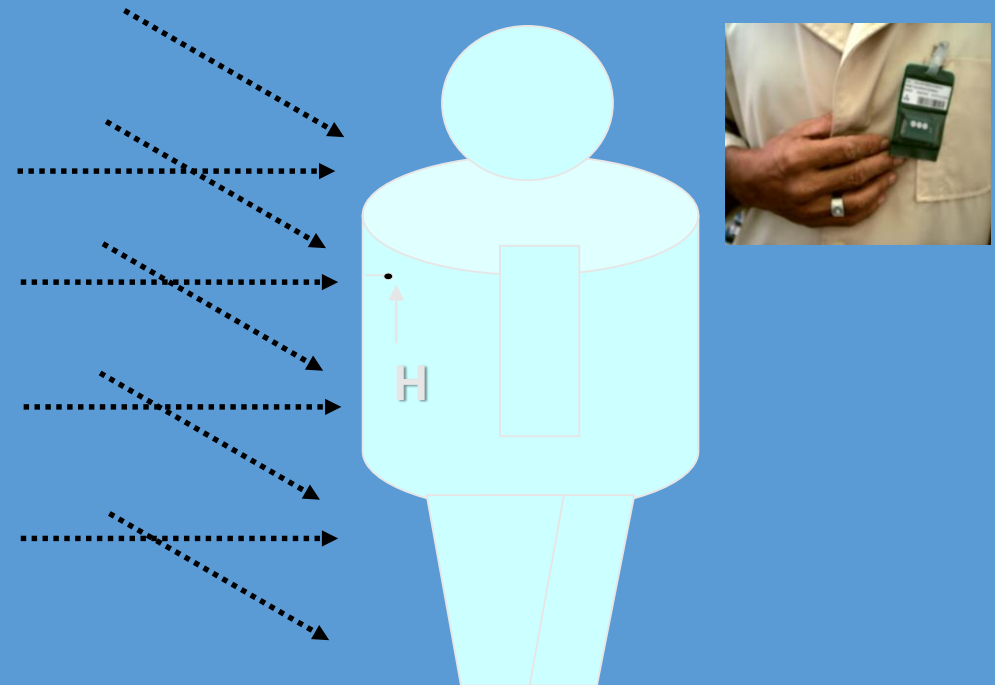
DOSIS EQUIVALENTE AMBIENTAL

$H(10)$ ($J.kg^{-1}$, Sv)



DOSIS EQUIVALENTE PERSONAL

$H_p(10)$ ($J.kg^{-1}$, Sv)



DOSIS EQUIVALENTE PERSONAL $H_p(10)$

Dosis equivalente personal $H_p(d)$: dosis equivalente en tejido blando debajo de un punto especificado en el cuerpo, a una profundidad determinada (d)

10 mm dosis equivalente en cuerpo entero, $H_p(10)$

0.07 mm dosis equivalente en piel y extremidades, $H_p(0.07)$

3 mm dosis equivalente en cristalino, $H_p(3)$

BIBLIOGRAFÍA



- Publicación ICRP 60. 1990 Recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica.. Ann. CIPR 21 (1-3).
- Publicación ICRP 103. Las recomendaciones de 2007 de la CIPR. Ann. CIPR 37 (2-4).
- Reporte 85. ICRU. 2011.
- OIEA. *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad.* GSR Parte 3. (2016).
- OIEA. *Occupational Radiation Protection.* GSG-7. (2018).

Tarea Investigativa

- Magnitudes físicas (fuente, campo, interacción)
- Factores de ponderación: ICRP 60 (1990) y 103 (2007)