

Radioprotección (Conceptos básicos)

Medidas y recursos técnicos y legales de carácter internacional dedicados a la protección de los trabajadores con elementos radioactivos.

Se estudian las radiaciones (partículas o fotones) que producen ionización en el medio que atraviesan (el cuerpo humano, principalmente) y las formas de evitarlas.

Las radiaciones externas conocidas son:

α, β, γ, n

$\alpha, \beta \rightarrow$ producen ionización directa (int. Coulombiana)

$\gamma, n \rightarrow$ " ionización " interacción electromagnética o por fragmentación.

Objetivos y principios básicos de la Protección Radiológica

Protección del trabajador, público, población y medio ambiente.

Principios básicos

i) Justificación: Se justifica la práctica que signifique un beneficio neto, positivo.

No se justifica la práctica que involucre adición o acumulación de material radiactivo en alimentos, bebidas, cosméticos... ni en adornos, juguetes, elementos decorativos.

ii) Optimización: Los sistemas (equipos) deben estar optimizados de forma que las dosis resulten tan bajas como sea razonablemente alcanzable (ALARA).

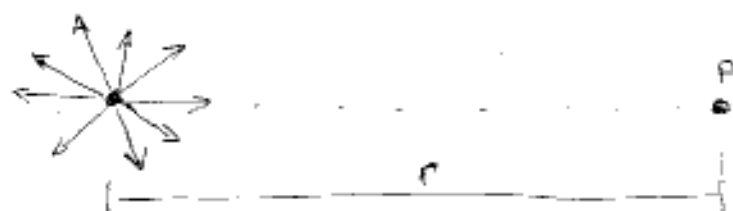
No se optimiza cuando:

- a) los trabajadores reciban $< 5 \text{ mSv/año}$
- b) el público reciba $< 100 \mu\text{Sv/año}$

iii) Límites y restricciones de dosis:

- No deben superarse los límites establecidos por el ICRP
- La dosis efectiva $< 20 \text{ mSv/año}$ en promedio de 5 años (100 mSv en 5 años, no debiendo superar los 50 mSv en un año)
- Aún dentro de los límites debe operarse con la menor dosis posible (ALARA).

Desde una fuente puntual se caracterizan y definen algunos de sus propiedades



Fuente:

$A \approx$ Actividad [Ci]

$E \approx$ emisividad ó % de emisión o rendimiento.

$E \approx$ energía media de las partículas ó radiación [MeV]

$\phi \approx$ fluencia: partículas por unidad de área en el punto P

Punto P

Dosis Absorbida: energía depositada por unidad de masa.

$$D = \frac{dE}{dm} [\text{J/Kg}] \approx [\text{Gy}] \rightarrow \text{Gray}$$

Exposición: Cantidad de carga dQ liberada en el aire cuando todos los fotones son absorbidos en una masa dm (también de aire)

$$X = \frac{dQ}{dm} [\text{Coul/Kg}] \quad 1R = 2,58 \times 10^{-4} \text{Coul/Kg}$$

Dosis absorbida media en un órgano o tejido

$$D_T = \frac{E_T}{m_T} [\text{Gy}]$$

$$10 \text{ gr} < m_T < 70 \text{ kg}$$

órganos

todo el cuerpo.

Factor de ponderación de la radiación externa W_R $\Rightarrow$ muchas radiaciones pueden estar presentes y su produce o afecta con un factor de peso diferente $\Rightarrow$ Se define

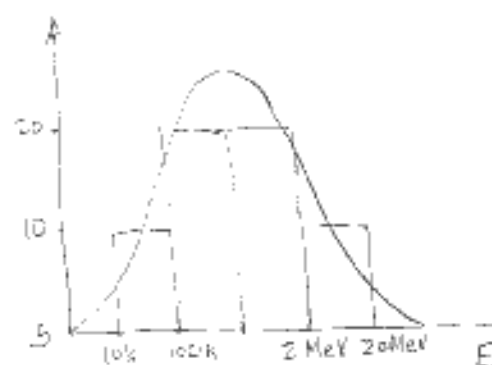
Dosis "equivalente" en un órgano o tejido H_T

$$H_T = \sum_R W_R D_{TR} = [\text{J/Kg}] \approx [\text{Sv}] \text{ Sievert}$$

$$\approx 100 \text{ REM}$$

W_R es una ponderación de la "Efectividad Biológica Relativa" (RBE)

Tipo de radiación R ($\sim E$)	WR
fotones (X, γ) $\forall E$	1
e^- μ $\forall E$	1
Neutrones $< 10 \text{ keV}$	5
$10 \text{ keV} < E < 100 \text{ keV}$	10
$100 \text{ keV} < E < 2 \text{ MeV}$	20
$2 \text{ MeV} < E < 20 \text{ MeV}$	10
$E > 20 \text{ MeV}$	5
α , fisión	20



Factores de ponderación de los tejidos (Sensibilidad de cada tejido diferente frente a la misma radiación)

Tejido u Órgano	WT
gónadas	0,20
Medula ósea	0,12
Pulmón Estómago	0,12
Hígado Mamaria	0,15
Piel Superficie ósea	0,01

$\Rightarrow$ Dosis Efectiva

$$E = \sum_T W_T H_T = \sum_T \sum_R W_T W_R D_{TR} = [Sv]$$

$$E < 20 \text{ mSv/año}$$

$$\text{Fondo BARILOCHE} \sim 3 \text{ mSv/año}$$

$$\text{Tandem} \rightarrow 0,81 \mu\text{Sv/h} = 0,81 \times 2000 \text{ mSv/año} \sim 1,6 \text{ mSv/año}$$

Problema: Las dosis equivalentes H_T o la DRT no pueden medirse.

$\Rightarrow$ se buscan expresiones aproximadas para calcular D.

de las definiciones de

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

$$\Psi = \frac{dE}{da} \quad \text{fluencia de energía por unidad de área.}$$

$$\text{se obtiene } D_E = \Psi \left(\frac{\mu_k}{\rho} \right)_{E,E}$$

$$\Rightarrow \dot{D}_E = \dot{\Psi} \left(\frac{\mu_k}{\rho} \right)_{E,E}$$

con $\left(\frac{\mu_k}{\rho} \right) =$ coeficiente de atenuación másico [cm^2/gr]

presión que para fotones, 0.7 millones:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

μ = coeficiente de atenuación
lineal [$1/\text{cm}$]

$$I = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)(\rho x)}$$

$\rho x = \bar{X}$ = espesor [gr/cm^2]

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right) = \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{gr}}\right]$$

$\dot{\Psi}$ no puede calcular a partir de datos de la fuente de radiación y de la energía de la misma

$$\dot{\Psi} = E \cdot \frac{dN}{da} \Rightarrow \dot{\Psi} = E \cdot \left(\frac{dN}{da dt} \right)^{dA} = \frac{E \cdot A}{\left(\frac{da}{dA} \right)} = \frac{E \cdot A}{4\pi r^2}$$

$\equiv \frac{A}{4\pi r^2}$ para fuente isotrópica.

$$\Rightarrow \dot{\Psi} = \frac{E \cdot A \cdot \text{eficiencia en \% (rendimiento)}}{4\pi r^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{\dot{D}_2 = \frac{A \cdot E \cdot \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{E,2}}{4\pi r^2}}$$

Absorción en diferentes medios I y II

$$\boxed{\frac{\dot{D}_I}{\dot{D}_{II}} = \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_I}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{II}}}$$

Dosis absorbida $D = \int_{t_0}^{t_f} \dot{D}(t) dt$ $\Delta t = t_f - t_0$

Dependencia temporal
en $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$; $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

$$\int A = \frac{A_0 T_{1/2}}{\ln 2} \left[1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t} \right]; \text{ como } T_{1/2} \gg t \text{ (t: tiempo de exposición)}$$

$$\Rightarrow \int A \sim A \cdot t$$

$$\Rightarrow \boxed{D = \dot{D}(t) \cdot \Delta t}$$

Exposición: para fotones en aire

$$X = \frac{dQ}{dm} [R] \text{ Roentgen}$$

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



X se puede calcular a partir de la dosis (en aire) recibida a una distancia r y sabiendo (estimando) la energía necesaria para crear (generar) un par iónico (en aire)

Si conoces W_{aire} = energía necesaria para formar un par iónico en aire

$\Rightarrow$ Obtengo el número de iones producidos por unidad de masa

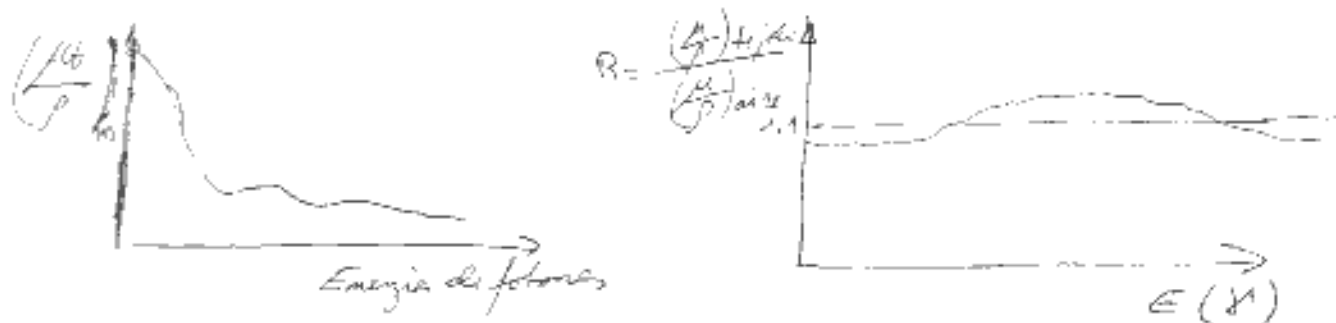
$\frac{D_{\text{aire}}}{W_{\text{aire}}} \Rightarrow$ la carga total producida por unidad de masa

$$\text{es } X = \frac{dQ}{dm} = \frac{D_{\text{aire}} \cdot q}{W_{\text{aire}}}$$

si tomo $W_{\text{aire}} \sim 33,97 \text{ eV}$; $q = 1,602 \times 10^{-19} \text{ Coul}$

$\Rightarrow$ La exposición (en equilibrio electrónico, con aire en CNTP) es proporcional a la dosis en aire $\Rightarrow$ Sabiendo la exposición en un medio ambiente, es inmediato obtener la dosis para diferentes tejidos y órganos

$$D_{\text{pm}} = 8,69 \times 10^{-3} \cdot X \frac{\left(\frac{\mu_{\text{te}}}{\rho}\right)_{\text{pm}}}{\left(\frac{\mu_{\text{te}}}{\rho}\right)_{\text{aire}}}$$



La relación $R = 1.1$ para casi todos los tejidos, menor para los huesos donde $R \sim 5,5$

con todo lo relacionado con radiación $\rightarrow$ se puede simplificar la expresión para X introduciendo la "Constante específica Γ "

$$\dot{X} = \frac{\Gamma A}{r^2} \left[\frac{R}{h} \right] \quad \Gamma = \left[\frac{R \cdot m^2}{h \cdot Ci} \right]$$

Radio nucleido	$\Gamma [Rm^2/hCi]$
^{137}Cs	0,32
^{60}Co	1,30
^{198}Au	0,23
^{192}Ir	0,39

Ejemplo: ¿Cuál es la dosis anual que recibe un trabajador en las siguientes condiciones?

- 1) Durante el 50% de sus horas de trabajo se encuentra a 1m de una fuente de $400 \mu Ci$ de ^{60}Co
- 2) El resto del año a 3m de la misma fuente.

Datos: a) Un trabajador trabaja a 2000h/año.

b) $\Gamma_{Co} = 1,3 Rm^2/hCi$.

c) $E_{Co} = 1,25 MeV$ (promedio).

d) Se desprecia el decaimiento de la fuente.

Exposición: 1) $X = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2} \cdot t = \frac{400 \times 10^{-6} Ci}{1m^2} \times \frac{1,3 Rm^2}{h \cdot Ci} \times 1000h = 0,52 R$

$$D_{aire} = 8,69 \times 10^{-3} X = 4,52 mGy$$

$$D_{tej} = D_{aire} \times 1,1 = 4,97 mGy$$

$$2) X = 0,052 R$$

$$D_{aire} = 0,5 mGy$$

$$D_{tejido} = 0,55 mGy$$

$$\Rightarrow \boxed{Dosis total anual (2000h) \sim 4,97 mGy + 0,55 mGy = 5,52 mGy}$$

- Inhalación.
- Ingestión.
- Exposición a la radiación externa.

Cuando hay contaminación $\Rightarrow$ puede haber mutación y muerte celular según las dosis aplicadas o recibidas.

Efectos biológicos: las células afectadas no se regeneran o no se reproducen o mutan hacia otro modificado que ya no cumple la misma función.

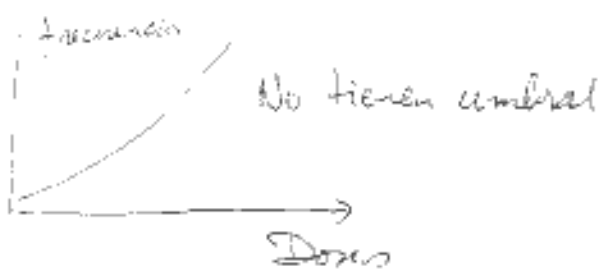
Efectos estocásticos: son aleatorios, las células sobreviven a la radiación con una alteración en su genoma.

↑ Severidad



La severidad del efecto es independiente de la dosis

pero aumenta la probabilidad de ocurrencia



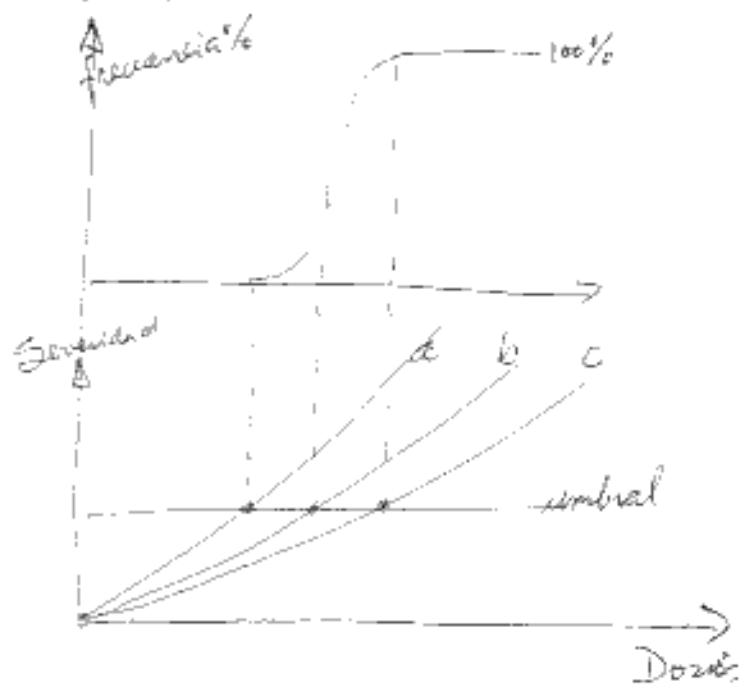
Ej: Cáncer

Determinísticos: la gravedad (severidad) y su frecuencia aumentan con la dosis

! Tienen umbral!

El 100% se logra con Dosis altas que alcanzan el umbral en toda la población.

Dosis umbral es la que produce efecto en 1-5% de la población



Clínica es grave:

0 - 0,25 Gy No hay manifestaciones clínicas (aumento de alteraciones cromosómicas de linfocitos)

0,25 - 1 Gy Disminución de linfocitos y plaquetas.

1 - 2 Gy + picos con náuseas y vómitos
(Los pacientes se recuperan con tratamiento)

2 - 4 Gy Náuseas y vómitos a las 1-2 horas
(Todos los pacientes se pueden recuperar con el adecuado tratamiento médico)

4 - 6 Gy Hemorragias, fiebres, etc.
(Hay posibilidades de recuperación con tratamiento médico)

5
3
2
1
0

100 Gy Muerte en pocas horas

Hormesis

infer

