

**Curso de capacitación continuada en  
materia de radioprotección para  
Responsables de Protección  
Radiológica.**

**P-06 Metodologías generales de  
Estimación de dosis.**

# Objetivo

- **Que los participantes conozcan los métodos generales que se pueden utilizar para estimar dosis para fuentes radiactivas (radiación Beta y Gammas y Neutrónica) y para equipos generadores de radiación.**

## CONTENIDO

- Concepto de fuente puntual.
- Cálculos de dosis por irradiación externa de partículas beta.
- Evaluación de contaminaciones superficiales.
- Cálculo de dosis por exposición externa a fuentes de radiación gamma.
- Cálculo de dosis debida a generadores de rayos X (radiación directa, radiación dispersa, radiación de fugas).
- Cálculo de dosis en equipos que producen haces de fotones (radiación directa, radiación dispersa, radiación de fugas).
- Estimación de las dosis debidas a la radiación neutrónica.
- Estimación de las dosis por contaminaciones internas.

## DOSIS EXTERNAS

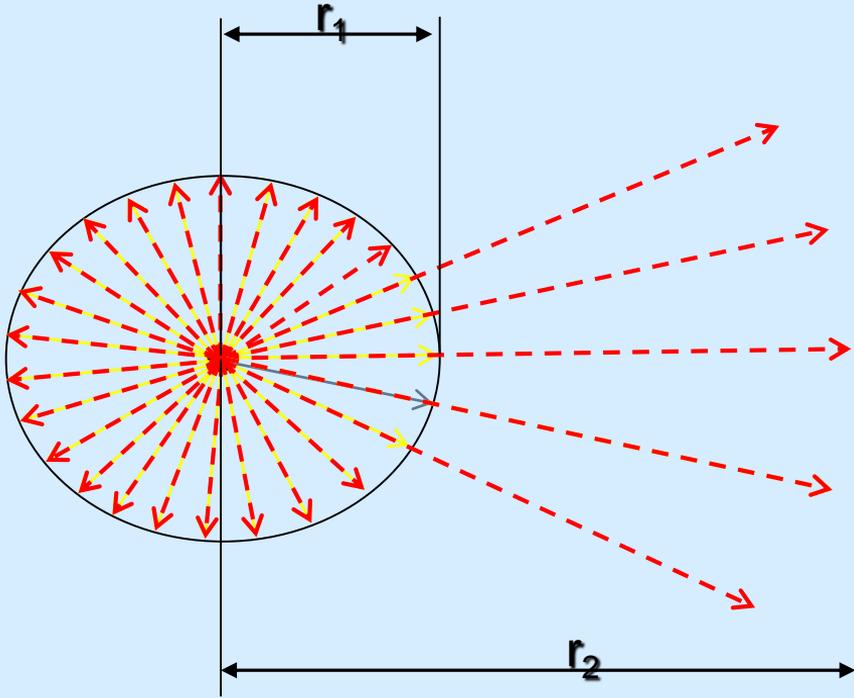
Partículas alfa ( $\alpha$ ): Despreciable, alcance de  $\mu\text{m}$  en tejido, alcance de centímetros en el aire

Partículas beta ( $\beta$ ): Efectos en la piel y en el cristalino, alcance de mm en tejido, alcance de cm a metros en el aire

Radiación X y gamma ( $\gamma$ ): Efectos en el cuerpo entero, alcance ilimitado en tejido y el aire

Neutrones: Efectos en el cuerpo entero, alcance ilimitado en tejido y el aire, mayor coeficiente de ponderación para la dosis equivalente que los fotones

# FUENTE PUNTUAL



Fuente puntual: Es una simplificación conceptual mediante la cual todo el volumen de la fuente se supone en un punto.

Principales características:

$$\Phi = \frac{N}{4\pi r^2}$$

$$H \sim 1/r^2$$

Es aplicable  $r_2 > 10 r_0$ , donde:  $r_0$  es la dimensiones de la fuente.

## ESTIMACIONES DE DOSIS. FUENTES BETA



FUENTE



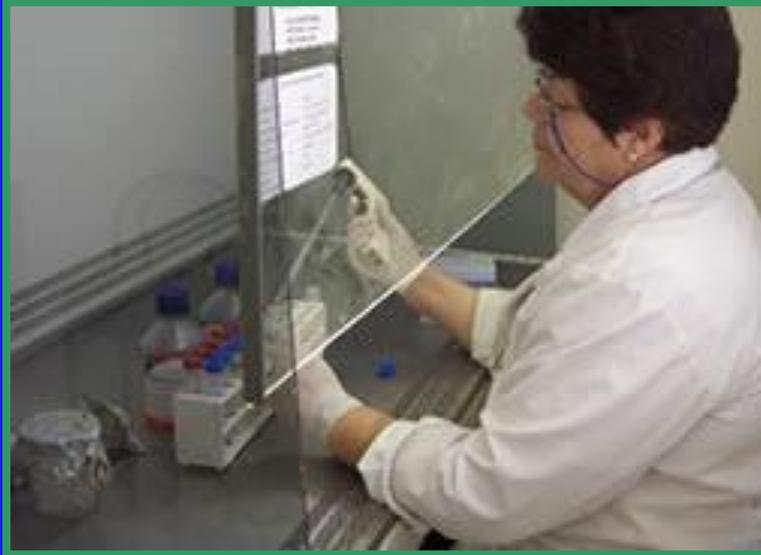
$$H_o = \frac{K(d) \cdot A \cdot t}{d^2}$$

$K$  [mGy.h<sup>-1</sup>.MBq<sup>-1</sup>.cm<sup>2</sup>]

A... Actividad [MBq]

t ... Tiempo de exposición [h]

d ... Distancia [cm]



## ESTIMACIONES DE DOSIS. FUENTES BETA CONTAMINACIONES SUPERFICIALES DE LA PIEL

Coeficientes que relacionan la contaminación superficial, en  $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$  con la tasa de dosis en la piel, por ejemplo, en  $\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$

Ejemplos:

$\text{I}^{131}$ :  $1.62 \text{ (mSv/h)/(kBq/cm}^2\text{)}$

$\text{P}^{32}$ :  $1.89 \text{ (mSv/h)/(kBq/cm}^2\text{)}$

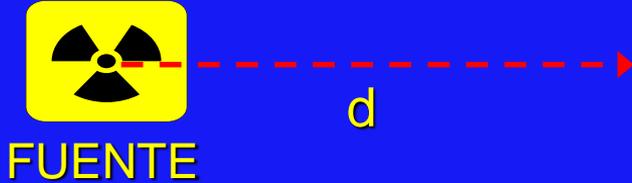
$\text{Tc}^{99\text{m}}$ :  $0.25 \text{ (mSv/h)/(kBq/cm}^2\text{)}$

$\text{TI}^{201}$ :  $0.27 \text{ (mSv/h)/(kBq/cm}^2\text{)}$

Radionuclide and Radiation Protection  
Data Handbook 2002.

Radiation Protection Dosimetry Vol. 98 No  
1, 2002

## ESTIMACIONES DE DOSIS. FUENTES GAMMA



$$H_0 = \frac{\Gamma \cdot A \cdot t}{d^2}$$

### EJEMPLOS:

$$^{137}\text{Cs} \quad \Gamma = 0.090 \text{ mSv. h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$$

$$^{192}\text{Ir} \quad \Gamma = 0.130 \text{ mSv. h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$$

$$^{60}\text{Co} \quad \Gamma = 0.351 \text{ mSv. h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$$

$$\Gamma \quad [\text{Sv.h}^{-1} \cdot \text{GBq}^{-1} \cdot \text{m}^2]$$

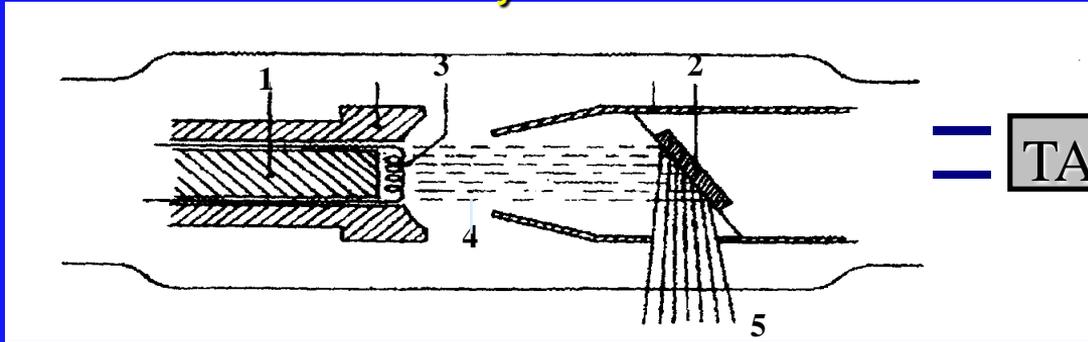
A... Actividad [GBq]

t ... Tiempo de exposición [h]

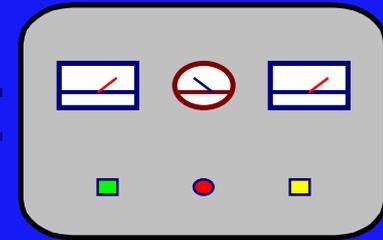
d ... Distancia [m]

## RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE RAYOS X

Tubo de rayos X



Unidad de Control

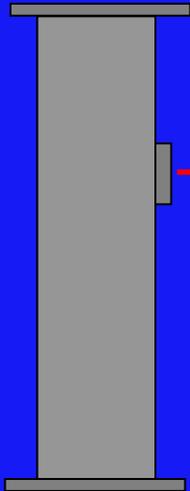


1. Cátodo
2. Ánodo
3. Filamento
4. Haz de electrones
5. Haz de rayos X

$$I_{\text{rad}} \sim I_{\text{corriente}}, (\text{mA})$$
$$E_{\text{rad}} \sim V_{\text{tubo}}, (\text{kV})$$

$$R[\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{mA}^{-1}\cdot\text{m}^2] \quad R = f(\text{kV})$$

## ESTIMACIONES DE DOSIS POR RADIACIÓN DIRECTA. RAYOS X



$$H_0 = \frac{R \cdot I \cdot t}{d^2}$$

$$R [\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{m}^2] \quad R = f(\text{kV})$$

$I$  ... Corriente [mA]

$t$  ... Tiempo de exposición [h]

$d$  ... Distancia al punto de interés [m]

### EJEMPLO:

Radioflex RF 250 EG-3

$V_{\text{máx}} = 250 \text{ kV}$

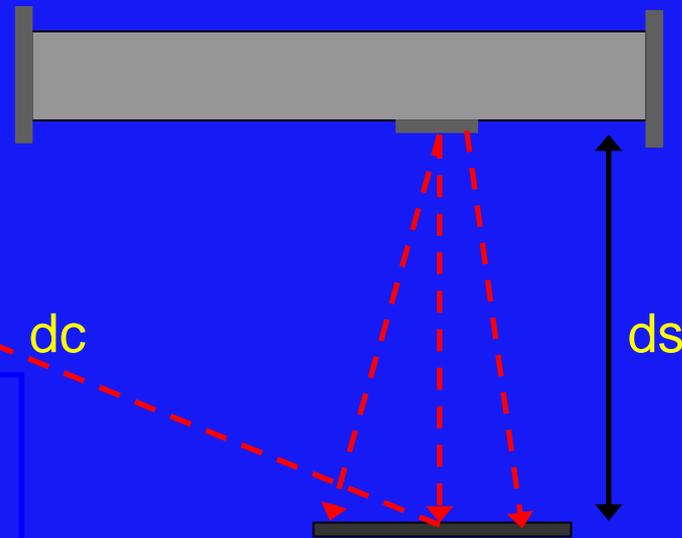
$I_{\text{máx}} = 5 \text{ mA}$ ,  $R = 1.08 [\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{m}^2]$

# ESTIMACIONES DE DOSIS POR RADIACIÓN DISPERSA. RAYOS X

RADIACIÓN DISPERSA (Rayos X)

$$H_0 = \frac{R \cdot I \cdot \alpha \cdot S \cdot t}{ds^2 \cdot dc^2}$$

$H_0$  ... Dosis equivalente [Sv]  
 $R$  ... Rendimiento [ $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{m}^2$ ]  
 $I$  ... Corriente aplicada al tubo [mA]  
 $\alpha$  ... Coeficiente de dispersión  
 $t$  ... Tiempo de exposición [h]  
 $ds$  ... Distancia a la superficie dispersora [m]  
 $dc$  ... Distancia desde la superficie dispersora al punto de interés [m]  
 $S$  ... Superficie dispersora [ $\text{m}^2$ ]

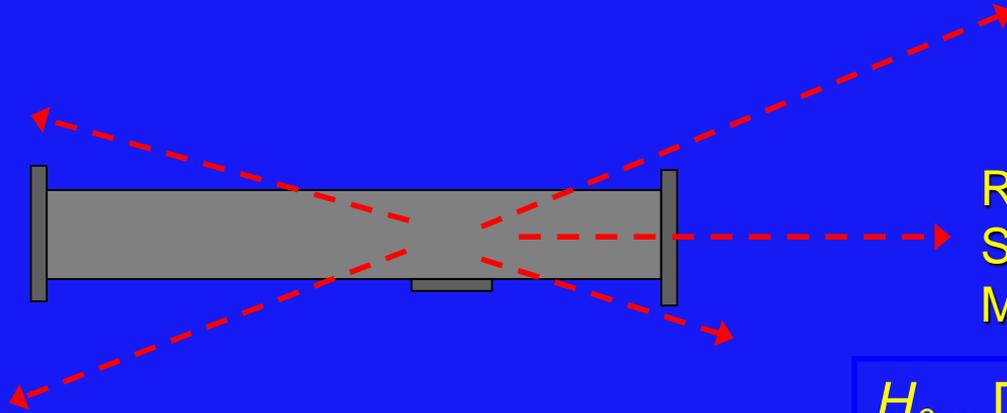


EJEMPLO

$$\alpha = 0.01$$

(Acero, 250 kV)

## ESTIMACIONES DE DOSIS POR RADIACIÓN DE FUGA. RAYOS X



RADIACIÓN DE FUGA

Según la norma:

Menor de 10 mSv/h ( $E < 500 \text{ keV}$ )

$$H_0 = \frac{10 \cdot t}{d^2} \cdot \left( \frac{I}{I_{max}} \right) \cdot \left( \frac{U}{U_{max}} \right)^2$$

$H_0$ ... Dosis [mSv]

$t$  ... Tiempo de exposición [h]

$d$  ... Distancia [m]

$U$  ... Voltaje de trabajo [kV]

$I$  ... Corriente de trabajo [mA]

$U_{max}$ ... Voltaje máximo [kV]

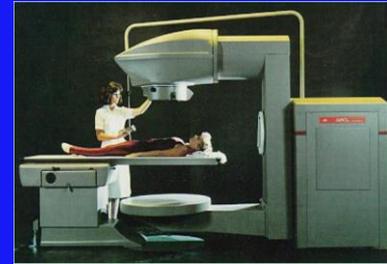
$I_{max}$ ... Corriente máxima [mA]

# EJEMPLO DE ESTIMACIÓN DE DOSIS PARA HACES DE FOTONES.

## 1. La persona expuesta al haz de radiación primaria.

La tasa de dosis que recibe la persona que se encuentra a una distancia ( $d$ ) de la Fuente de radiación en el haz primario, puede ser estimada por la ecuación:

$$H_{pri} = H_o (d_o^2 / d^2)$$



$H_{pri}$ : es la tasa de dosis recibida debido al haz de Radiación primaria.

$H_o$ : es la tasa de dosis en el isocentro del haz.

$d_o$ : es la distancia desde la Fuente al isocentro del haz.

$d$ : es la distancia entre la Fuente y la persona expuesta.

$$D_{pri} = H_{pri} * T$$



# EJEMPLO DE ESTIMACIÓN DE DOSIS PARA HACES DE FOTONES.

## 2. La persona se expone a la Radiación secundaria.

La dosis que recibe una persona que se encuentra a una cierta distancia del isocentro del haz, fuera del haz primario, es la suma de la dosis recibida debido a la radiación dispersa en el paciente y la dosis que recibe debido a la radiación de fuga del cabezal del equipo de Teleterapia.

$$D_T = D_f + D_p$$

**$D_T$**  Dosis total.

**$D_f$**  Dosis debido a la radiación de fuga.

**$D_p$**  Dosis debido a la radiación dispersa.



# EJEMPLO DE ESTIMACIÓN DE DOSIS PARA HACES DE FOTONES.

## 2. La persona se expone a la Radiación secundaria.

Las dos contribuciones a la tasa de dosis total pueden ser estimadas por las ecuaciones siguientes:

$$H_s = \alpha H_0 (F/400)/(d_{sca}^2 d_{sec}^2) \longrightarrow D_p = H_s * T$$

$$H_f = f_r H_0 / d_f^2 \longrightarrow D_f = H_f * T$$

$H_s$  – Tasa de dosis debida a la radiación dispersa.

$H_f$  – Tasa de dosis debida a la radiación de fuga.

$H_0$  – Tasa de dosis en el isocentro del equipo.

$d_{sca}$  – Distancia desde la Fuente hasta el paciente, en metros,

$d_{sec}$  – Distancia entre el punto de interés y el paciente, en metros,

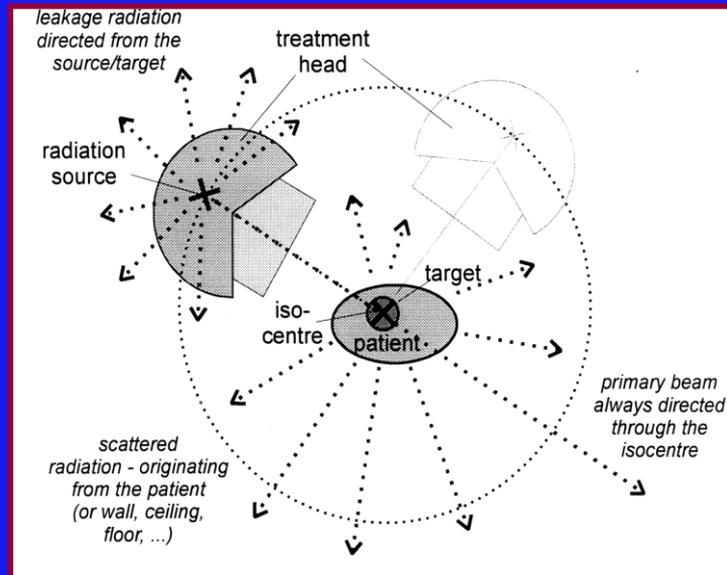
$d_f$  – Distancia entre el cabezal del equipo y el punto de interés, en metros,

$\alpha$  – Fracción de dispersión, definida a la distancia  $d_{sca}$ . ( $\alpha(30^\circ) = 2,77E-03$  (6 MV)).

$F$  – Área del campo de radiación sobre el paciente, en  $cm^2$ .

$f_r$  – fracción del haz primario que se fuga del cabezal del equipo generador.

$f_r = 0,001$  para LINAC.



## ESTIMACIONES DE DOSIS. NEUTRONES

$$E(E_n) = C(E_n) \cdot \frac{A_e(E_n) \cdot t}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

$C(E_n)$  ... Coeficiente de dosis [Sv.m<sup>2</sup>]

$A_e(E_n)$  ... Emisión de la fuente para la energía  $E_n$ , en s<sup>-1</sup>

$t$  ... Tiempo de exposición [s]

$d$  ... Distancia al punto de interés [m]

Coeficientes de dosis

$E_n$ (eV)	$C(E_n) \times 10^{-15}$ Sv.m <sup>2</sup>	$E_n$ (eV)	$C(E_n) \times 10^{-15}$ Sv.m <sup>2</sup>
$2.10 \times 10^0$	0.97	$1.31 \times 10^5$	8.17
$9.50 \times 10^0$	0.85	$2.52 \times 10^5$	14.0
$2.60 \times 10^1$	0.78	$5.00 \times 10^5$	23.0
$7.00 \times 10^1$	0.72	$1.00 \times 10^6$	33.0
$1.16 \times 10^2$	0.69	$1.50 \times 10^6$	35.3
$3.50 \times 10^3$	0.64	$2.70 \times 10^6$	35.1
$1.00 \times 10^4$	0.91	$4.50 \times 10^6$	41.0
$5.00 \times 10^4$	3.96	$9.00 \times 10^6$	43.8

## ESTIMACIONES DE DOSIS. CONTAMINACIÓN INTERNA

Vías principales de incorporación de radionucleidos en el organismo:

1. Inhalación (aerosoles, vapores)
2. Ingestión
3. Heridas / piel



El método práctico general para el cálculo de la dosis (Sv) consiste en encontrar el valor de actividad incorporada (Bq) al organismo y utilizar los coeficientes de conversión de dosis efectiva comprometida (Sv/Bq) publicados para las vías fundamentales de incorporación.

$$D_{ing}^{inh} [Sv] = A_{ing}^{inh} [Bq] * CCD_{ing}^{inh} [Sv / Bq]$$

## ESTIMACIONES DE DOSIS. CONTAMINACIÓN INTERNA

Vía de incorporación de radionucleidos en el organismo:

### 1. Inhalación (aerosoles, vapores)

Suposiciones:

- se asume que el 10% de la actividad del radioisótopo (Ejemplo  $^{131}\text{I}$ ) derramado se volatiliza.
- se asume que toda la actividad volatilizada se distribuye uniformemente en el volumen de aire del local ( $V$  en  $\text{m}^3$ ).
- se asume una tasa de respiración en adultos  $T_{\text{res}} = 1.2 \text{ m}^3/\text{h}$

Entonces:  $A_{\text{volu}} = 0.1 * A_{\text{I}^{131}} / V$  (MBq/ $\text{m}^3$ )

$$A_{\text{inh}} = A_{\text{volu}} * T_{\text{res}} * t_p$$

Dato:  $\text{CCD}^{\text{I}^{131}}_{\text{inh}} = 10.943 \text{ mSv/MBq}$

$$D_{\text{ing}}^{\text{ing}} [\text{Sv}] = A_{\text{ing}}^{\text{inh}} [\text{Bq}] * \text{CCD}_{\text{ing}}^{\text{inh}} [\text{Sv} / \text{Bq}]$$



## *Conclusiones:*

- 1) El RPR debe tener sólidos conocimientos que le permitan estimar dosis para diferentes tipos de radiación y vías de exposición.**
- 2) Es importante conocer en que situaciones de exposición pueden hacerse simplificaciones, considerando “fuente puntual”, para hacer estimaciones de dosis.**
- 3) Existe suficiente bibliografía para hacer cálculos de dosis y debe ser de conocimiento de los RPR.**



## Bibliografía

1. NUCLEAR TECHNOLOGY PUBLISHING: Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook. Radiation Protection Dosimetry Vol. 98 No.1 (2002).
3. CROSS W. G. at. el.: Tables of Beta-ray Dose Contributions in Water, Air and other Media. Atomic Energy of Canada Limited, AECL-7617, Chalk River, Ontario (1982).
4. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS: Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities. NCRP Report No. 147 (2004).
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY: Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation, Safety Guide, No. RS-G-1.3, IAEA, Vienna (1999).
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Assessment of Occupational Exposure due to Intakes of Radionuclides. Safety Guide No. RS-G-1.2, IAEA, Vienna (1999).