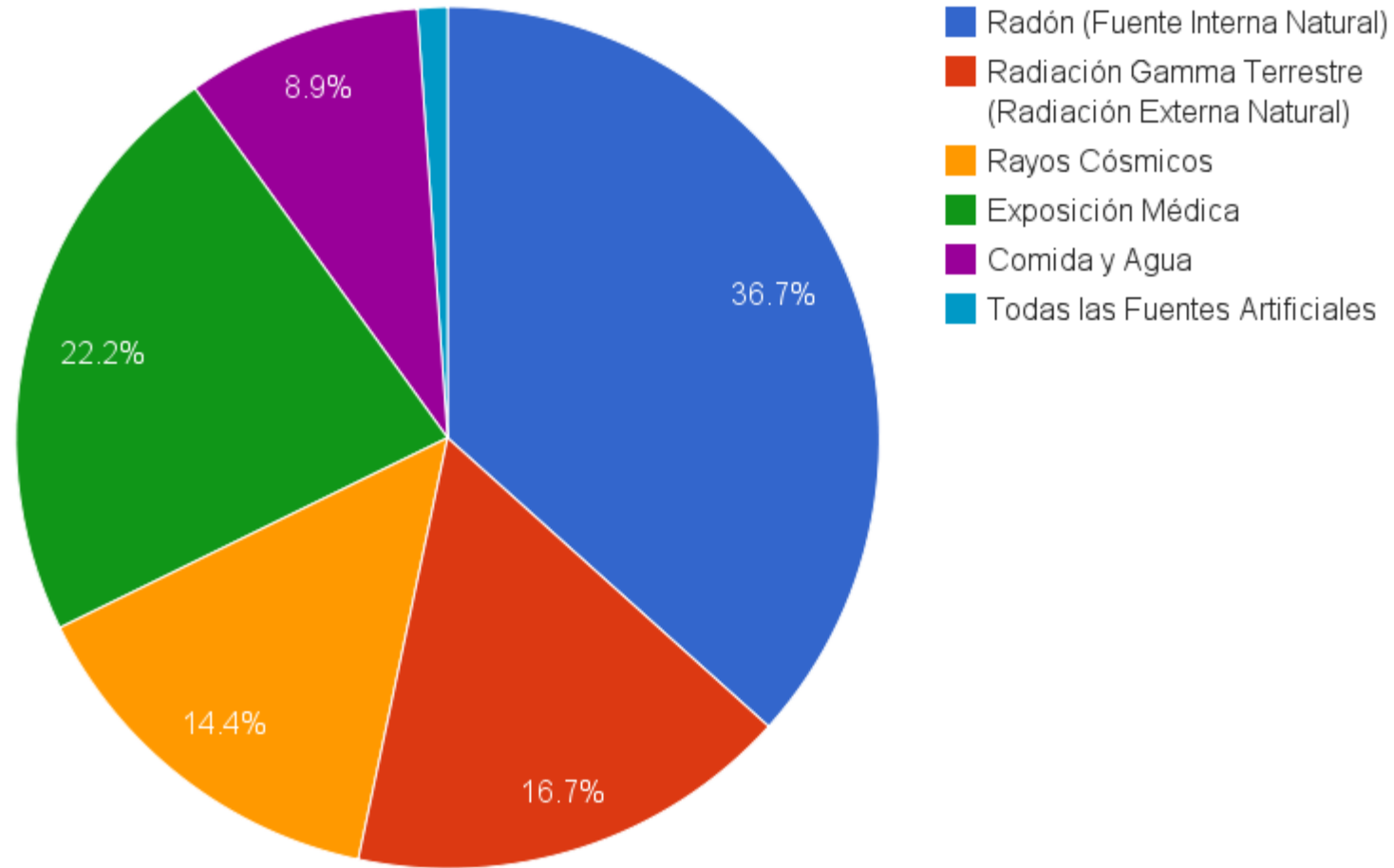


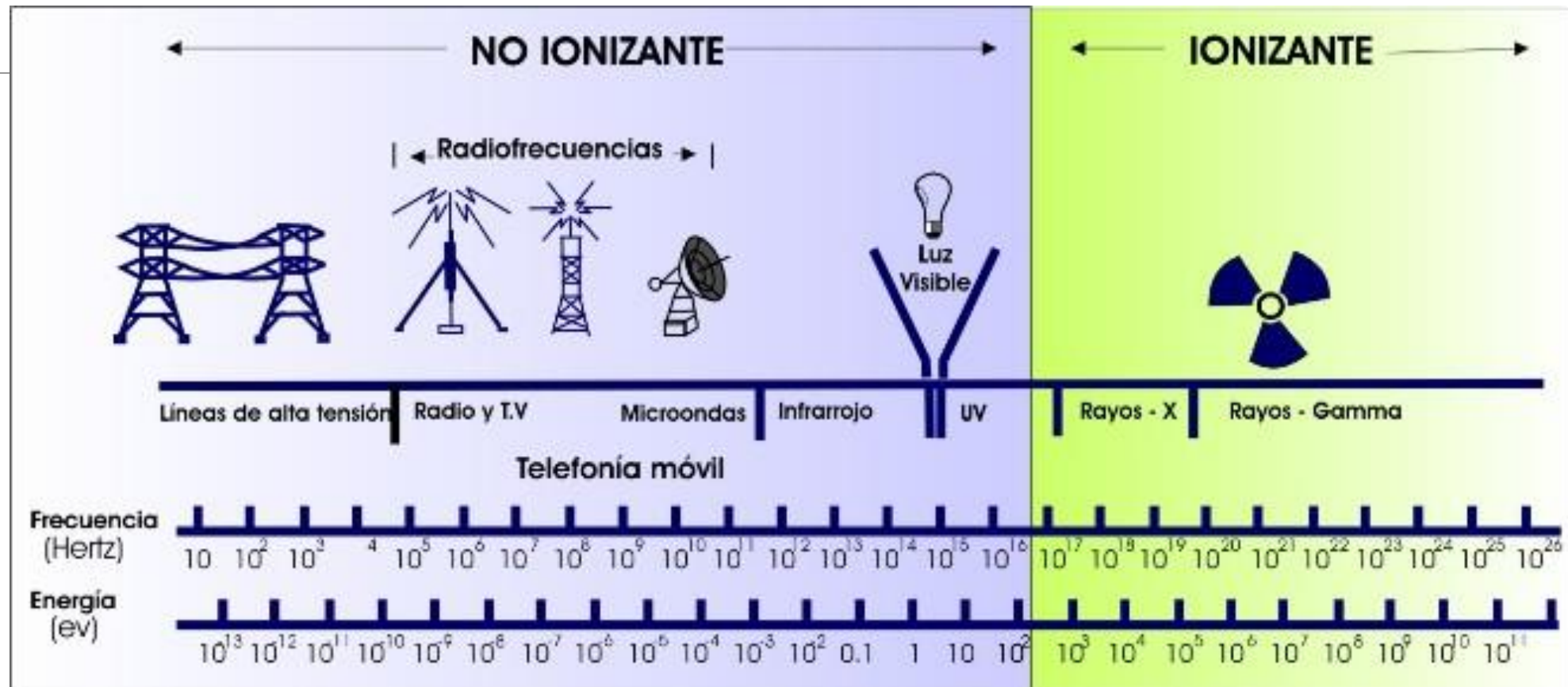
Fundamentos de Protección Radiológica

ESPERANZA DEL PILAR INFANTE L. Ph.D.

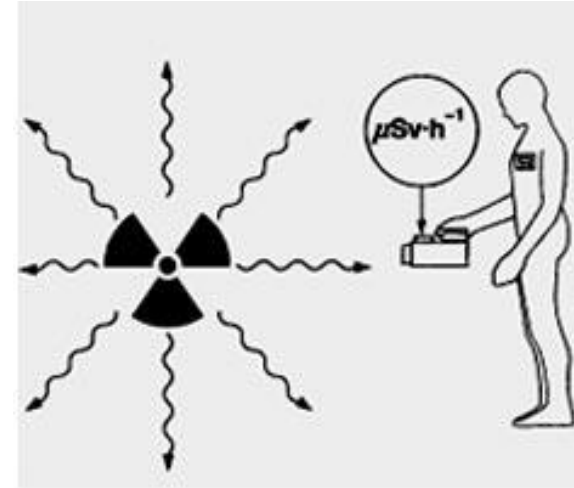
ESPECIALISTA EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y SEGURIDAD NUCLEAR

Exposición a las Radiaciones Ionizantes en Humanos





Actitudes frente a las radiaciones ionizantes



Objetivo de la Protección Radiológica

Protección del hombre contra los efectos nocivos de la radiación, permitiendo no obstante el desarrollo de prácticas que podrían generar una exposición a radiación.

- Exposiciones Ocupacionales: Toda exposición de los trabajadores sufrida durante el correcto periodo de trabajo.
- Exposiciones médicas .-Exposición sufrida por los pacientes en el curso de su propio diagnóstico o tratamiento médico o dental.
- Exposiciones del público

Sistema de limitación de dosis

Para alcanzar estos objetivos se recomienda el uso de un sistema de limitación de dosis, lo que implica los siguientes requerimientos:

JUSTIFICACIÓN

OPTIMIZACIÓN

LÍMITE DE DOSIS

1. Criterio de Justificación

Siempre que exista una exposición a radiaciones ionizantes, ésta deberá ser a cambio de un beneficio. De este modo, si una exposición no puede justificarse, deberá prohibirse.

2. Optimización

Toda exposición implica un riesgo entonces conviene reducir todas las exposiciones al valor más bajo razonablemente alcanzable. (ALARA)

Consecuencia de esta optimización se establecen los niveles de referencia y los límites de dosis.

3. Límites de dosis

En cualquier caso, las dosis no podrán sobrepasar los límites establecidos por la legislación, aún en los individuos más expuestos.

Cuáles son esos valores?

Cambian para las diferentes exposiciones?

MAGNITUDES Y UNIDADES

Concepto de magnitud

Definición de Magnitud

Cualidad de un cuerpo o de un fenómeno, cuyo valor se obtiene por comparación con la unidad de medida. Ej. Longitud (metro), duración (segundo)

Clases de Magnitud

De Campo

De interacción

Dosimétricas

Magnitudes dosimétricas

Magnitudes dosimétricas

Cualidades que permiten medir los efectos de la radiación sobre la materia.

Ejemplos de magnitudes dosimétricas

Exposición: ionización en aire

Dosis absorbida: energía transferida a la materia

Dosis efectiva: daño causado a ser vivo

Exposición X

Energía depositada por fotones en un cierto volumen de aire, medida en términos de los pares de iones generados: $X = dq/dm$

Unidades

R = Roentgen

cantidad de radiación electromagnética necesaria para producir una unidad electrostática de carga (esu) en 1 cm^3 de aire a STP

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

Dosis absorbida

Magnitud dosimétrica fundamental D ,

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm}$$

en la que $d\varepsilon$ es la energía media impartida por la radiación ionizante a la materia en un elemento de volumen, y dm es una masa de la materia existente en el elemento de volumen.

Unidad de dosis absorbida en el SI

Unidad moderna: Gray (Gy)

1 Gray = 1 Joule/kg

Unidad antigua: rad (Radiation Absorbed Dose)

1 rad = 100 erg/g

1 rad = 1 cGy

Harold Gray, 1905-1965





Dosis equivalente de radiación (H_{TR})

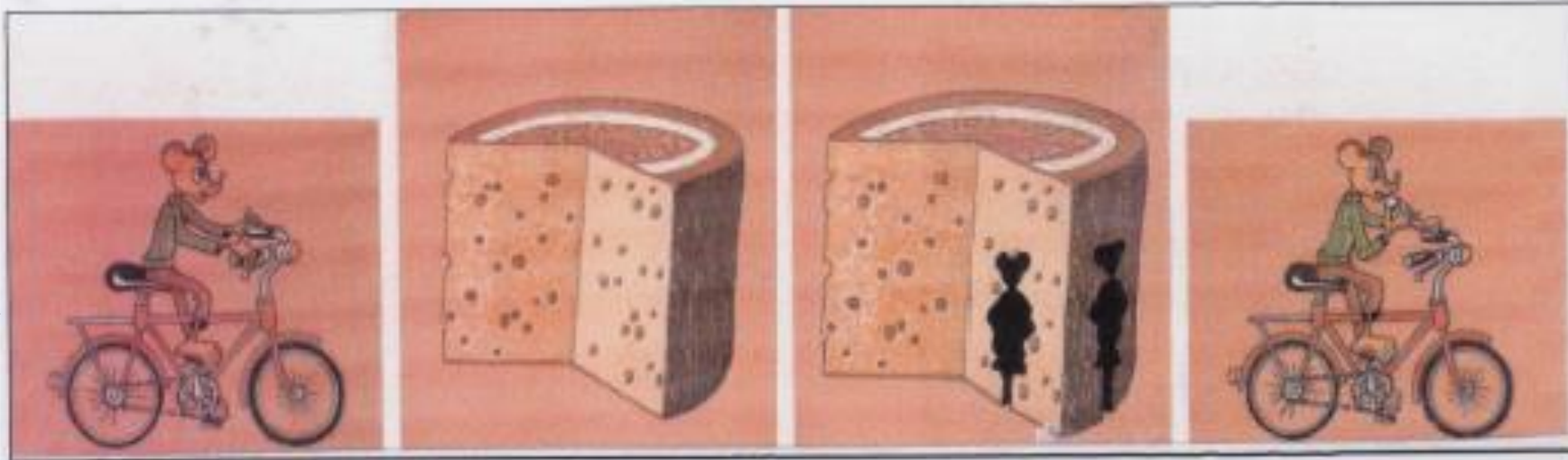
Unidad SI: $1\text{J/kg} = 1$ Sievert (Sv) en honor a Rolf Sievert

Dosis de cualquier radiación ionizante que aplicada a un tejido u órgano produce el mismo efecto que un Gy de rayos X

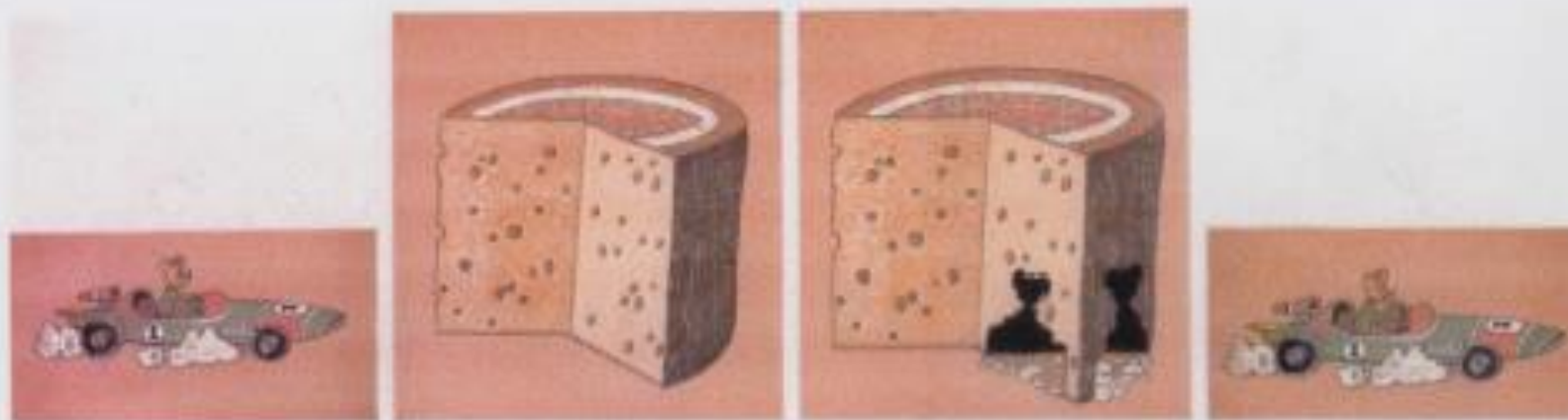
Unidad antigua: rem (Rad Equivalent Man)

$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv}$





FOTONES Y ELECTRÓNES DE TODAS LAS ENERGÍAS $w_R = 1$



NEUTRONES ENERGÍA < 10 KeV Y PROTONES ENERGÍA > 2 MeV $w_R = 5$



NEUTRONES ENERGÍAS DE 10 A 100 KeV Y DE 2 A 20 MeV $W_R = 10$



PARTÍCULAS ALFA CON ENERGÍAS ENTRE 100 KeV Y 2 MeV $W_R = 20$

$$H_T = w_R \cdot D_T$$

Radiación	Energía	w_R
Rayos X, Rayos gamma, electrones, positrones, muones		1
Neutrones	< 10 keV	5
	10 keV - 100 keV	10
	100 keV - 2 MeV	20
	2 MeV - 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Protones	> 2 MeV	2
partículas alfa, productos provenientes de la fisión nuclear, Núcleo atómico pesado		20

Dosis efectiva:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

donde:

H_T : dosis equivalente (Sv),

w_T : factor de ponderación del tejido (0.05-0.20)

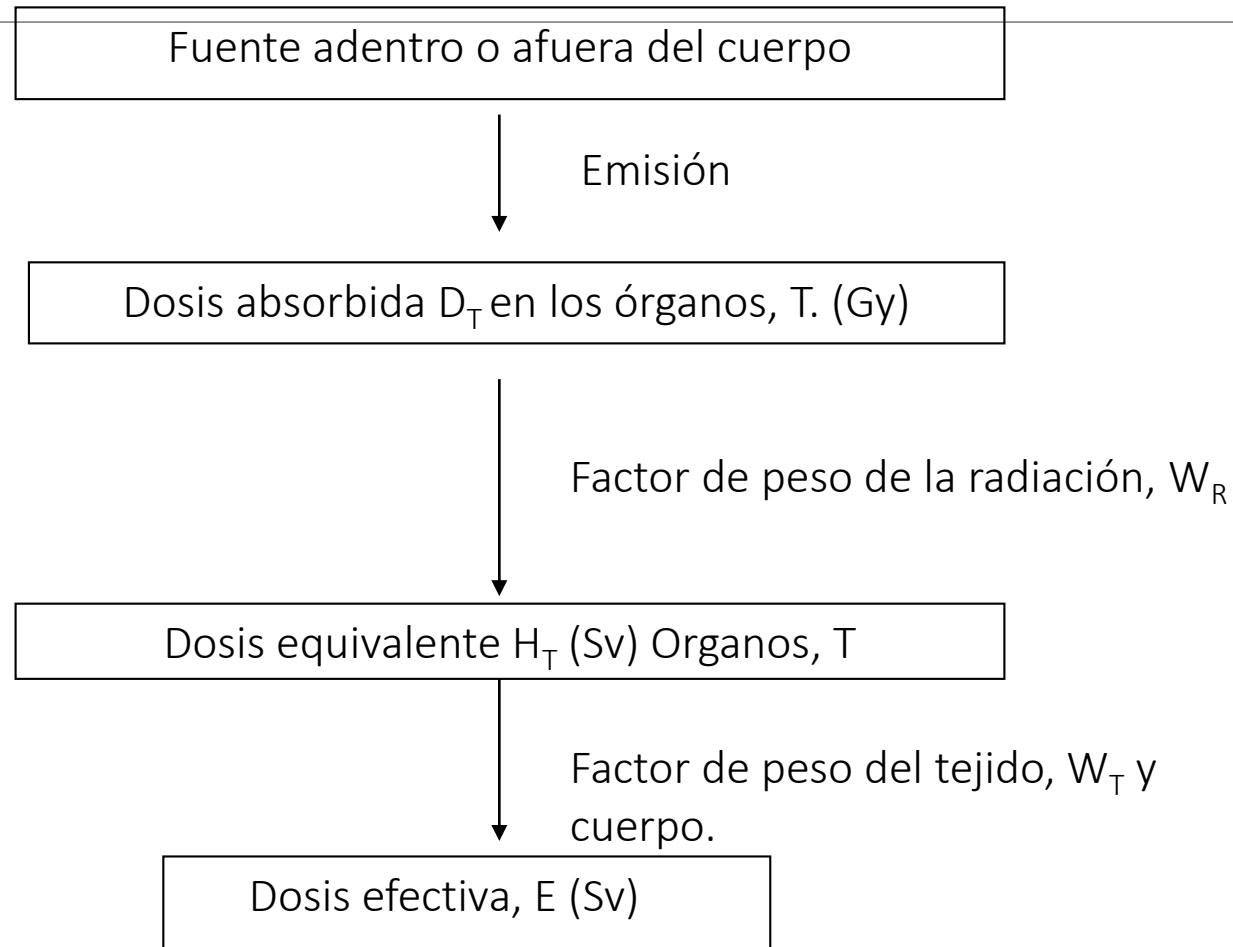
Unidad: 1 Sv (sievert)

Tejido u órgano	Factor de ponderación w_T
Gónadas	0.20
Médula ósea (red)	0.12
Colon	0.12
Pulmón	0.12
Estómago	0.12
Vejiga	0.05
Pecho	0.05
Hígado	0.05
Esófago	0.05
Tiroides	0.01
Superficie ósea	0.01
Resto (suprarrenales, riñones, músculos, intestino grueso, intestino delgado, páncreas, bazo, timo, útero, cerebro)	0.05

Dosis efectiva (mSv)

Rayos X		Medicina Nuclear	
Cardio angiografía	10	Tiroides	I-131
TC pelvis		Miocardio	Tl-201
Intestino grueso	1	CBF	Tc-99m
TC abdomen		Tiroides	I-123
Urografía		Hueso	Tc-99m
Espina lumbar		Tiroides	Tc-99m
Pecho	0.1	Hígado	Tc-99m
Extremidades	0.01	Pulmón	Tc-99m
Dental		Renografía	I-131
		Volumen de sangre	I-125
		Aclaramiento	Cr-51

Relación entre magnitudes



SISTEMA DE LIMITACIÓN DE DOSIS

Límites de dosis

“...Una exposición **prolongada y continuada** que genere dosis por encima de los **límites** en condiciones **normales** se considerará **inaceptable...**”

Lo que es aceptable para el paciente no lo es para el radiólogo ni para el público

Dosis < límite \neq aceptable

Límite = umbral efectos Determinísticos

Límites recomendados ICRP

Aplicación	Ocupacional	Público
Dosis Efectiva	20 mSv /año promediado sobre un período de 5 años	1 mSv / año
Dosis Equivalente Anual:		
Cristalino	150 mSv / año	15 mSv /año
Piel y extremidades	500 mSv / año	50 mSv/año

Dosis comparadas (mSv/ año)

Tratamiento de Radioterapia	50000
Dosis Letal Media	4500
Dosis Eritema Piel	45000
Límite Dosis (Extremidades)	500
Límite Dosis (Cristalino)	150
Límite Dosis (Promedio)	20
Dosis paciente	1 a 40
Límite Dosis (promedio público)	1
Dosis Radiólogo en odontología	0.1

DOSIS EQUIVALENTES RECIBIDAS EN EXÁMENES RADIOLÓGICOS

Dosis en la Superficie y por Radiografía (mSv)

Dental

Periapical.....7

Panorámica.....5

Radiología Convencional

Pélvica..... AP 10

Lumbar..... AP 10

LAT 30

Torax..... AP 7

LAT 20

NIVELES DE REFERENCIA

Nivel de Investigación:

Cuando las dosis equivalentes recibidas por el personal ocupacionalmente expuesto, superan un cierto valor justificado y característico del tipo de operación.

La autoridad competente debe investigar las posibles causas con el propósito de evitar que se excedan los límites autorizados

NIVELES DE REFERENCIA

Nivel de Intervención:

Debe prefijarse cuál es el nivel de dosis equivalente que justifica la intervención de la autoridad competente.

Condiciones de Servicio

Mujeres Embarazadas:

Una trabajadora que se dé cuenta de que está embarazada, debe notificarlo para que se modifiquen sus condiciones de trabajo, si es necesario.

Jóvenes:

Ninguna persona menor de 16 años deberá estar sometida a exposición ocupacional.

Clasificación de zonas

Según los riesgos inherentes y el potencial de exposición, las zonas de trabajo se clasifican en Controladas y Supervisadas

Zona Controlada:

Es aquella en la que las condiciones normales de trabajo, incluyendo incidentes menores, requieren que el trabajador cumpla procedimientos y prácticas bien establecidas, dirigidas específicamente a controlar la exposición a la radiación.

Zona Supervisada:

Es aquella en la cual se siguen ciertas condiciones de trabajo, pero normalmente no son necesarios procedimientos especiales.

PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES

DISTANCIA

TIEMPO

BLINDAJE

Distancia razonablemente máxima entre el operador y la fuente

- * *Partículas Alfa* Alcance de unos pocos centímetros.
- * *Partículas Beta* Alcance de unos pocos metros.
- * *Radiación Gamma* Mayor poder de penetración y recorrido en aire.



!NO!

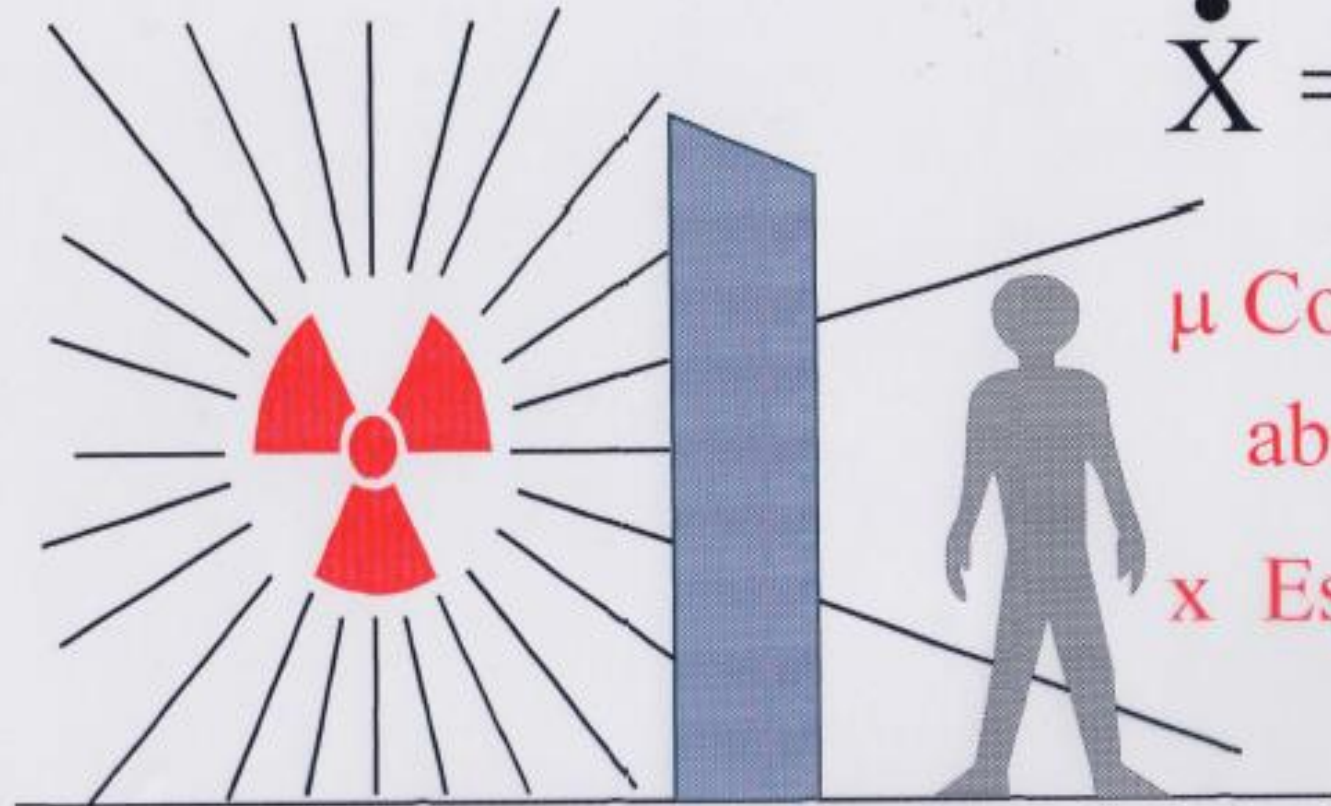
NO TOME NUNCA LA FUENTE

Tiempo *mínimo* de operación

$$H = \dot{H} * t$$



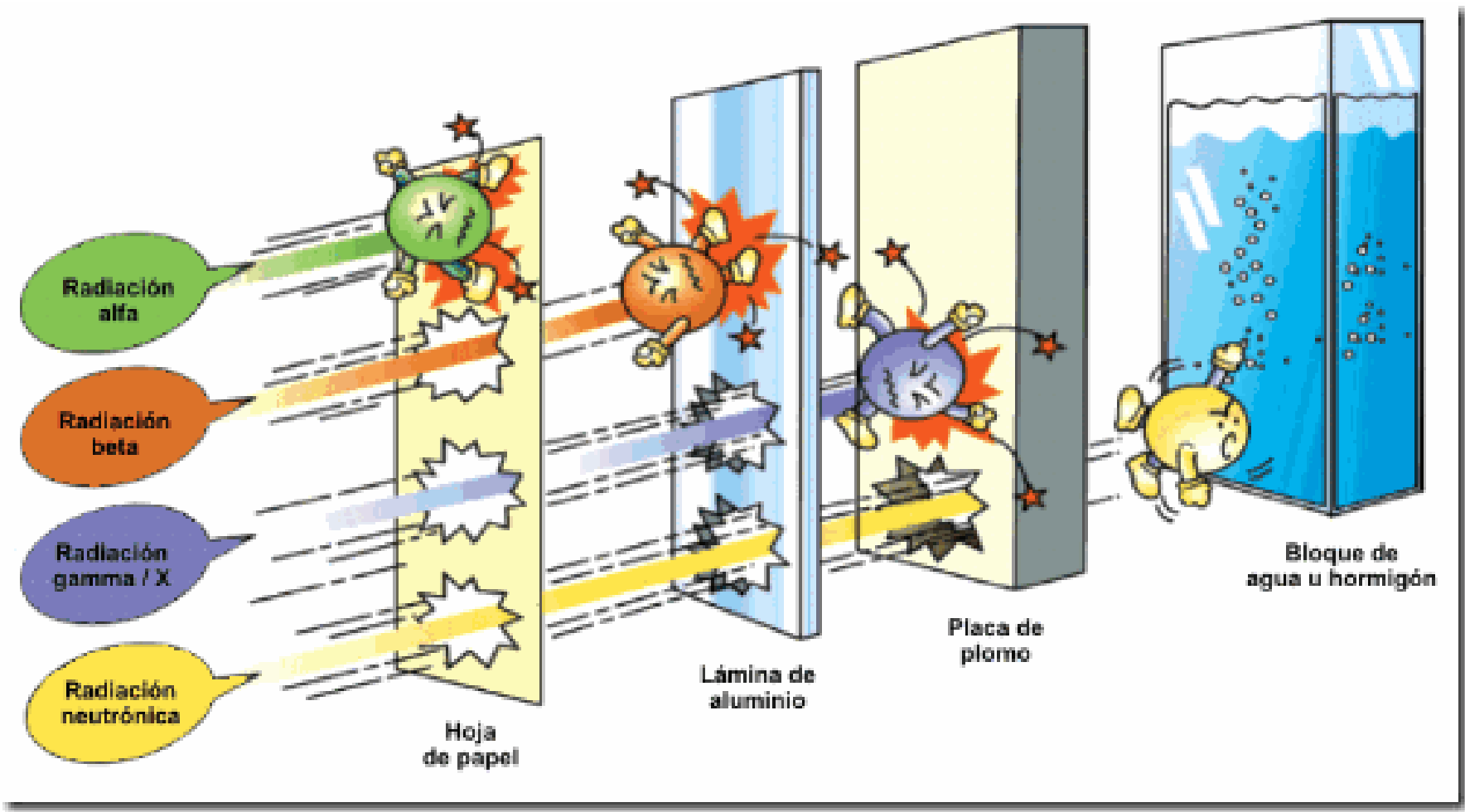
Blindaje adecuado entre el operador y la fuente



$$\dot{X} = \dot{X}_0 e^{-\mu x}$$

μ Coeficiente de absorción lineal

x Espesor del blindaje





Aspectos a tener en cuenta en el diseño

- Área donde se va a instalar el equipo
- Características máximas el equipo
- Zonas limítrofes y Tiempo de ocupación
- Orientación del haz

EFFECTOS BIOÓLOGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Efectos biológicos de radiación ionizante

Sómáticos:

Se manifiestan sobre el individuo que recibe la dosis.

Hereditarios

Ocurren cuando se ven afectadas las células germinales o gametos; se manifiestan en la progenie.

Dependiendo de la aparición de los síntomas y de la relación DOSIS –EFECTO se puede hacer la siguiente clasificación:

Probabilísticos o estocásticos:

La probabilidad del efecto es función de la dosis, no tienen umbral

Determinísticos

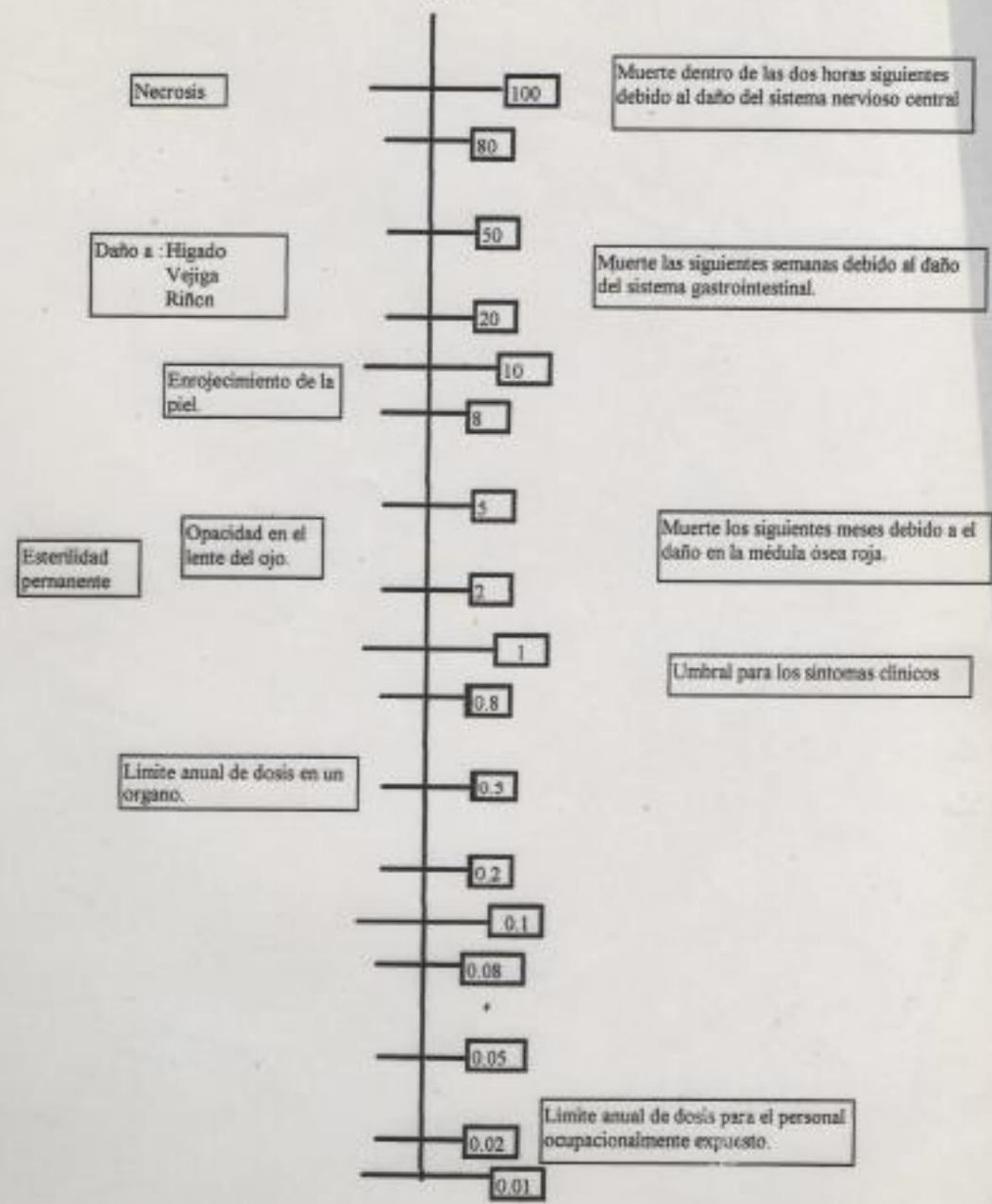
La gravedad del efecto es función de la dosis, tienen umbral.

IONIZANTES

EXPOSICION EN UN ORGANNO

DOSIS (Sv)

EXPOSICION EN TODO EL CUERPO



DOSIMETRÍA PERSONAL

DOSIMETRIA PERSONAL

- ✓ Equipo de protección personal
- ✓ Monitoreo individual
- ✓ Investigación (accidente o incidente)
 - ✓ Vigilancia, seguimiento y medidas
- ✓ Registros documentados

Equipo de protección personal

Rellenos de plomo u otro material “pesado” (alto Z)

Unos 0.3 mm de Pb de espesor o su equivalente

Más Pb en la parte delantera que la trasera (se asume trabajar de cara a la fuente)

Guantes y gafas; con menos Pb por practicidad

Pantallas protectoras para manipular fuentes



Precauciones básicas

Distancia

Tiempo

Blindaje: usar la protección

Higiene: exposición interna y externa

No beba

No coma

No fume

No se maquille



Monitoreo individual

Dosimetría personal: película, termoluminiscente (TLD), ópticamente estimulado (OSL), medida directa (o electrónico)

La vigilancia no protege, simplemente permite verificar que las condiciones de seguridad se mantengan y sobre todo detectar las anomalías.

Leído cada mes o cada 3 meses

Debe ser entregado a tiempo para su lectura

Debe informarse del reporte

Se lleva en el pecho, muñeca, anillo... **siempre debajo de la protección.**

Dosímetro ambiental: referencia.

Uso del dosímetro

Los dosímetros de cuerpo entero

- Evalúan tanto la dosis profunda (10mm) como la superficial (0,07mm) y deben ser usados siempre sobre el torso entre el cuello y la pelvis. En el caso de usar delantal plomado, se deben colocar el dosímetro personal debajo de éste.

Los dosímetros de anillo

- Miden la dosis en las extremidades y deben ser usados en el dedo de la mano en aquella donde se realice la mayor parte del trabajo con radiación y por debajo de los guantes; únicamente lo usan las personas que manipulan materiales radiactivos, durante su preparación.

Uso del dosímetro

Los dosímetros son un dispositivo pasivo

- Su dosímetro da un estimativo de la cantidad de dosis de radiación externa a la que usted se ha expuesto. Este no absorbe radiación ni puede protegerlo en forma alguna contra la radiación.

Quienes deben portar dosímetro personal

Deben portar dosímetro personal (cuerpo entero y/o anillo):

- Toda persona que por razones de su ocupación tenga como función la manipulación directa o indirecta de material radiactivo (fuentes abiertas o selladas) y/o equipos emisores de radiaciones ionizantes.
- Todas las personas responsables del mantenimiento directo, la calibración, dosimetría física y el aseguramiento de la calidad de los materiales radiactivos y/o equipos emisores de radiaciones ionizantes.

Quienes deben usar dosímetro

Las personas que por razones de su trabajo, deban estar presentes durante un procedimiento que involucre el uso de radiaciones ionizantes de forma esporádica.

- Se les será asignado un dosímetro de carácter provisional que evaluará la dosis equivalente durante el tiempo de su permanencia, la cual debe limitarse al menor tiempo posible.
- Este personal no es clasificado como ocupacionalmente expuesto.

Uso del dosímetro

Los funcionarios sin dosímetro personal

- No deben ingresar a las zonas controladas (lugares donde se realizan las aplicaciones con material radiactivo o equipos emisores de radiaciones ionizantes). El no cumplimiento de esta medida acarreará un llamado de atención.

Tipos de dosímetros individuales

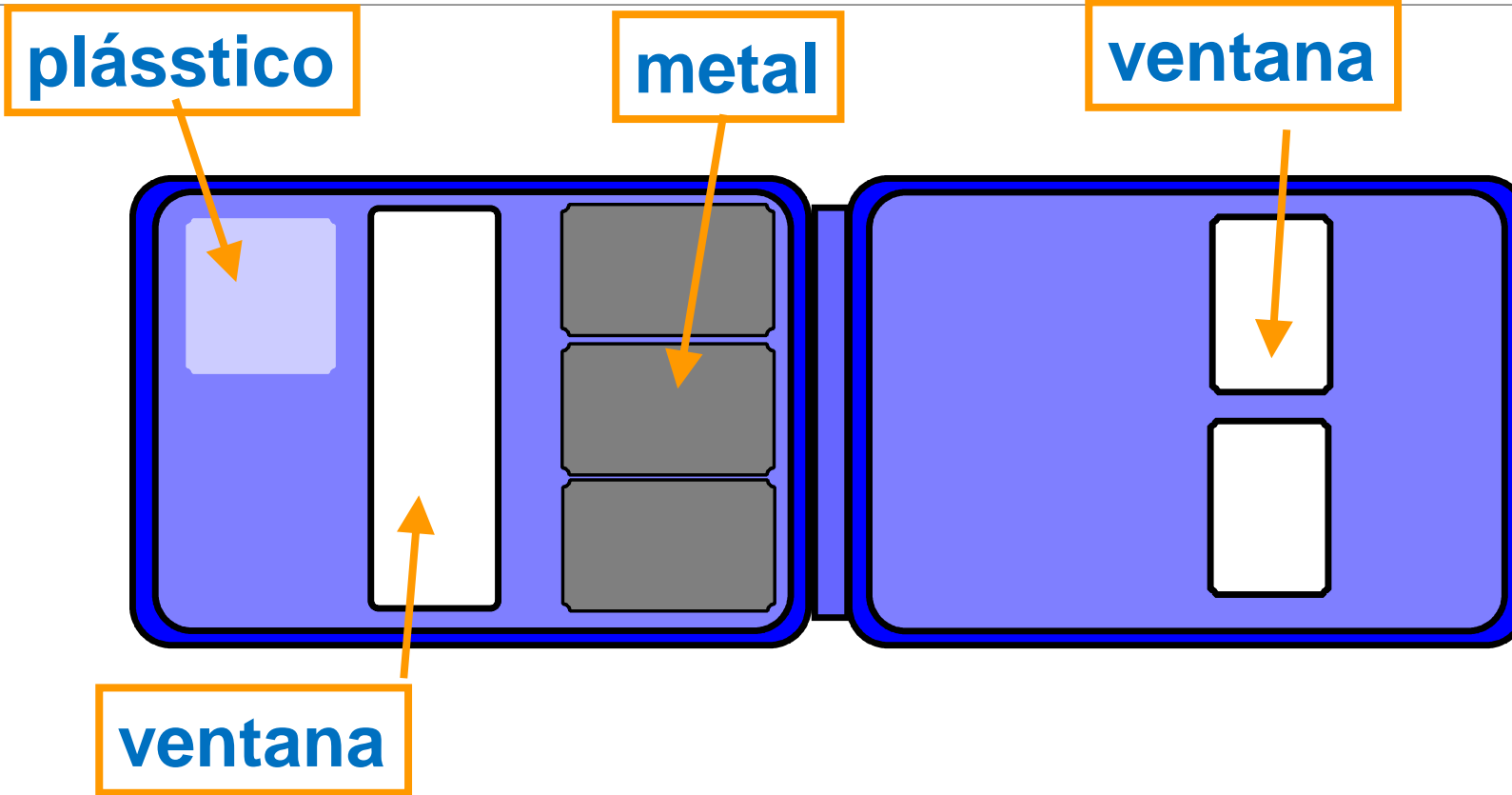


Cámara de Ionización

Tipo lápiz



Dosímetros de película



detecta beta, gamma, rayos X

TLD y OSL



Lectura directa

Miden en tiempo real

Aproximan la dosis medida a el límite esperado

Avisan si se rebasa cierto límite





Dosimeter for X-rays, gamma, beta radiation and neutron

Dosimetry Service



InLight™ Instrumentation



Technologies



Correcto uso del dosímetro

No exponga su dosímetro deliberadamente a la radiación

- Si usted sospecha o tiene evidencia de que su dosímetro fue irradiado inadvertidamente por favor contacte inmediatamente al Oficial de Protección Radiológica para reportar el incidente y realizar un ajuste a la dosis acumulada en su historial.

Correcto uso del dosímetro

Cuando no esté usando su dosímetro

- Manténgalo en el lugar que en su servicio ha sido destinado para este fin. En un lugar donde pueda ser garantizado que la dosis debida a radiación sea prácticamente igual a la radiación de fondo. Nunca retire su dosímetro de las instalaciones de su lugar de trabajo.

Correcto uso del dosímetro

No intercambie su dosímetro

- Los dosímetros son de carácter personal y asignados a cada funcionario con nombre propio y la dosis reportada es acumulada en la historia bajo el nombre de cada trabajador.
- Si alguien en su sitio de trabajo requiere de un dosímetro, por favor recomíéndele contactar al responsable del servicio de Salud Ocupacional

Correcto uso del dosímetro

Su dosímetro no podrá ser leído correctamente, si no es devuelto dentro de los plazos fijados en cada servicio.

- Siempre devuelva su dosímetro, el mismo día en que este sea cambiado por el correspondiente al nuevo periodo de evaluación a la persona responsable en cada servicio

Correcto uso del dosímetro

Notifique al oficial de protección radiológica la pérdida de su dosímetro

- En caso de pérdida de su dosímetro podrá ser reemplazado mediante un costo fijado en el estándar operacional de dosimetría personal.

Correcto uso del dosímetro

Coloque el dosímetro de control en una zona libre de radiación

- El dosímetro de control sirve para detectar la dosis, debida a radiación cósmica que será descontada especialmente cuando el dosímetro para su lectura puede ser enviado a otro país.
- El no observar esta norma afecta la lectura de todos los dosímetros.

Correcto uso del dosímetro

Cuide su dosímetro

- Nunca juegue con su dosímetro ni con alguno de uno de sus compañeros.
- No lo exponga al calor, al agua o altas concentraciones de humedad.
- Los reportes de dosimetría constituyen documentos legales y las lecturas deben representar siempre exposiciones a la radiación realmente recibidas.
- En caso de pérdida o mal uso existe un costo de reposición del dosímetro.

El reporte de dosimetría

Nit 8
Cra
Tels
E-m

REPORTE DE DOSIMETRIA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

N. de centro		Fecha recibo dosimetria	
NIT Entidad Usuaria		Fecha del reporte	
Municipio / Ciudad		Vo.Bo. / Firma del responsable del Reporte	
Persona Contacto			
Cargo del contacto			

Código	Nombres y Apellidos	Género	Ocupación	Documento de Identidad	Fecha De Ingreso Al Servicio	Periodo De Uso		Periodo Recambio	Ubicación del Dosímetro	Dosis del Periodo (mSv)				Dosis acumulada del año (mSv)				Dosis Acumulada desde ingreso al Servicio (mSv)				Notas
						Primer Día	Ultimo Día			Neutro.	Profun.	Ojo	Super.	Neutro.	Profun.	Ojo	Super.	Neutro.	Profun.	Ojo	Super.	
2489781	CONTROL *	M	U	1	04/10/2012	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	0,00	0,17	0,17	0,17	0,00	0,48	0,48	0,48	0,00	0,78	0,78	0,78	1
2489781		M	U		04/10/2012	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,29	0,29	0,29	0,00	0,29	0,29	0,29	1
2489781		M	U		04/10/2012	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,16	0,16	0,16	0,00	0,16	0,16	0,16	1
2489781		M	U		04/10/2012	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,14	0,14	0,14	0,00	0,14	0,14	0,14	1
2489781		F	U		04/10/2012	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
2489781		M	U		04/10/2012	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,10	0,10	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10	1
2489781		M	U		04/10/2012	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,13	0,13	0,13	0,00	0,13	0,13	0,13	1
2489781		M	U		04/10/2012	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,19	0,19	0,19	0,00	0,19	0,19	0,19	1
2489781		F	U		04/10/2012	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,13	0,13	0,13	0,00	0,13	0,13	0,13	1
2489781		M	U		04/10/2012	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,26	0,26	0,26	0,00	0,26	0,26	0,26	1
2489781		F	U		04/10/2012	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,33	0,33	0,33	0,00	0,33	0,33	0,33	1
2489781		M	X		23/04/2013	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
2489781		F	X		23/04/2013	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
2489781		F	X		23/04/2013	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
2489781		M	X		23/04/2013	15/05/2013	14/06/2013	M	Torso	ND	ND	ND	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1

Nomenclatura: ND=No Detectable, NP=No Presentado, DCNE=Dosímetro Control No Evaluable, PPL= En Proceso Para Lectura.

Notas: 1.Ninguna 2.Extraviado 3.Llego nuevo 4.Supera dosis permitida de 1.67 mSv.

Una Nota Importante: La razón por la cual la ICRP=Comisión Internacional de Protección Radiológica, recomienda que el límite de dosis para Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos sea de 20 mSv año obedece a estimar que la vida laboral de una persona es de 50 años y que en toda la vida debe recibirse como máximo una dosis de un Sievert. El límite de dosis para trabajadores con ubicación dosímetro extremidad (anillo) es de 500mSv año.

Información de interés general:

- * Una dosis reportada como ND=No Detectable, significa que la lectura está entre cero y el nivel de detección (0,01 mSv)
- * Hp(d), es la dosis equivalente personal a la profundidad indicada en milímetros. Así: Hp(10) estima la dosis en tejido profundo, Hp(0.07) estima la dosis en tejido superficial y Hp(3) estima la dosis al cristalino.
- * Los dosímetros de control, tienen por objeto la verificación de irradiaciones incidentales o accidentales durante el transporte y/o lugar de almacenamiento mientras es retornado para lectura. No deben utilizarse o ser asignados a usuario alguno.
- * Una dosis reportada como PPL, significa que el dosímetro se recibió y está en proceso para lectura.

* Toda dosis que sea igual o supere el valor de 1.67 mSv/mes debe ser investigada y documentada al interior de la instalación. Tal registro, es una señal de alerta indicadora de la posibilidad de sobrepasar el límite anual, o indicadora de la necesidad de optimizar la práctica.

* Toda dosis que sea igual o supere el valor de 12.0 mSv/mes debe ser inmediatamente reportada a la Autoridad Reguladora, con el fin de emprender acciones que reduzcan o eviten la exposición o la probabilidad de exposición.

* La periodicidad de recambio de los dosímetros, reviste importancia ante la necesidad de investigar registros de dosis fuera de los rangos recomendados, ante un incidente, un accidente o una situación de emergencia.

Referencias

ICRP 103 (2007)

J. Radi. Prot. 28 pag 161 (2008)

EUROPEAN COMMISSION -RADIATION PROTECTION NO 160-Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation (2009)

Normas de seguridad del OIEA-Programas de protección radiológica para el transporte de materiales radiactivos **para la protección de las personas y el medio ambiente** N° TS-G-1.3 (2011)

Frank H. Attix and William C. Roesch (eds), *Radiation Dosimetry*, 2nd Ed, Academic Press, New York, EEUU (1968) 405 pp

OIEA, “Normas Básicas Internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación”, Colección Seguridad No. 115, Viena, Austria (1997) 366 pp

International Standardization Organization, Norma ISO ISO/FDIS 21482 "Ionizing-radiation warning - Supplementary Symbol", Ginebra, Suiza (2007) 10 pp

ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60, Pergamon Press, Oxford (1991)

Manuel E. Guzmán, *Nucleónica Básica*, 2a. Edición, Instituto de Asuntos Nucleares, Bogotá, Colombia (1989) 314 pp

Material de entrenamiento en PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN MEDICINA NUCLEAR, IAEA
(<https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/AdditionalResources/Training/training-material-es/Nuclear-medicine.htm>) visitado 24/03/2014