



# Radioprotección

# Contenidos

1. Efecto biológico de la radiación
2. Radiotoxicidad
3. Protección contra la radiación
4. Normas y Medidas de Seguridad
5. Legislación Nuclear

¿Como afecta la radiación  
a los seres vivos?

# Efecto biológico de la radiación

Actividad	Dosis Anual Media
Medicina nuclear	1 mSv
Centrales nucleares	5 mSv
Radiografía industrial	10 mSv
Trabajadores profesionalmente expuestos	2 mSv
Publico general	2 $\mu$ Sv

Otras fuentes de radiación domestica son los monitores de computador, los relojes luminiscentes, los detectores de humos, los televisores, etc...

# Efecto biológico de la radiación

Algunos hechos concretos son:

- Irradiación intensa en la superficie del cuerpo humano por partículas alfa y beta (gran ionización local) puede llevar a pérdida de cabello, quemaduras a la piel
- Irradiación con rayos RX o RY (penetración profunda) lleva a rupturas celulares, aumenta probabilidad de cáncer y/o leucemia. Además puede producir mutaciones en cromosomas
- Una exposición a fuertes dosis puede llevar a la muerte porque se destruyen los agentes de defensa del organismo.

# Efecto biológico de la radiación

La utilización sin riesgo de la tecnología nuclear consiste en mantener las dosis de irradiación por debajo de ciertos límites establecidos. Esto puede ser en un determinado órgano o para todo el individuo.

Para profesionales expuestos a material radiactivo la dosis anual media alcanza 1 mSv. Para la población general la cantidad de 1.5 mSv

Según los acuerdos y convenciones vigentes la dosis efectiva máxima que la población general puede acumular es de 1 mSv/año. Los trabajadores vinculados a las radiaciones ionizantes pueden llegar a tener 100 mSv en 5 años, con un máximo único de 50 mSv en un año.

Las dosis equivalentes pueden llegar a 150 mSv para el cristalino del ojo y a 500 mSv para piel y manos, por ejemplo.

# Efecto biológico de la radiación

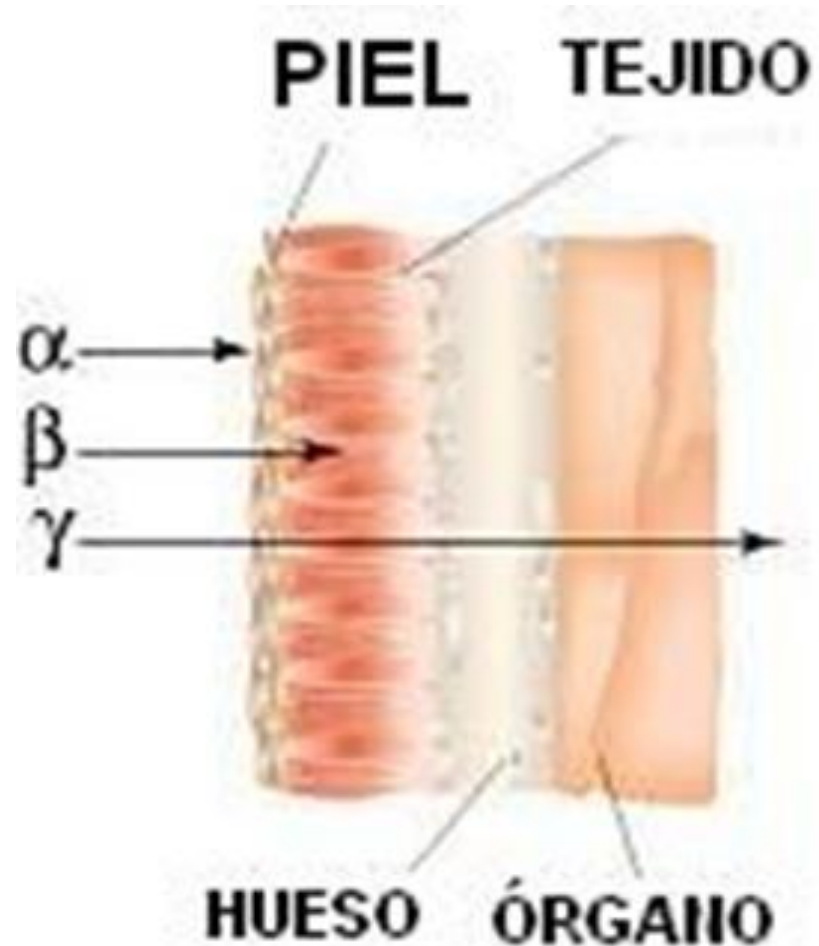
Un examen médico puede representar una gran dosis para el paciente. Las dosis absorbidas dependen de los tejidos y la zona irradiada.

Órgano o tejido	Exp. columna	Exp. uretral
Dosis a la piel	10 mGy	10 mGy
Dosis en la médula ósea	340 $\mu$ Gy	160 $\mu$ Gy
Dosis en las gónadas		
- masculinas	1 $\mu$ Gy	4 mGy
- femeninas	10 $\mu$ Gy	180 $\mu$ Gy

# Efecto biológico de la radiación

Otras aplicaciones médicas son la radioterapia, donde las fuentes de irradiación con Co-60 y Cs-137. Se suministran hasta varias decenas de Gy en las zonas localizadas.

Los métodos de exploración y diagnóstico por medio de radiofármacos atacan directamente órganos específicos. La totalidad de dosis por aplicaciones médicas (media anual) es de 500  $\square$ Sv.





**TABELA III – Radionuclídeos para diagnóstico**

Radionuclídeo	Tempo de meia-vida	Modo de decaimento	Energia raios $\gamma$ (keV)	Abundância da emissão $\gamma$ (%)
$^{99m}\text{Tc}$	6 h	TI	140	89
$^{131}\text{I}$	193 h	$\beta^-$ , g	364	81
$^{123}\text{I}$	13 h	CE	159	83
$^{67}\text{Ga}$	78 h	CE	93, 185, 300, 394	37, 20, 17, 5
$^{111}\text{In}$	67 h	CE	171, 245	90, 94
$^{201}\text{Tl}$	73 h	CE	135, 167	3, 20
$^{11}\text{C}$	20,4 min	$\beta^+$	511	99,8
$^{13}\text{N}$	10 min	$\beta^+$	511	100
$^{15}\text{O}$	2,07 min	$\beta^+$	511	99,9
$^{18}\text{F}$	110 min	$\beta^+$	511	96,9
$^{124}\text{I}$	4,2 dias	$\beta^+$	511	25
$^{64}\text{Cu}$	13 h	$\beta^+$	511	38

NOTA: TI – transição isomérica; CE – captura eletrônica.

# Efecto biológico de la radiación

Los factores que conducen a una irradiación a ser biológicamente peligrosa son:

- Dosis letal → niveles profesional y población general
- Factor de calidad, FQ (FEB en Francia y RBE en EEUU)
- Energía de la radiación
- Tejido involucrado y órgano expuesto
- Dosis parcial o velocidad de adquisición de la dosis

# Efecto biológico de la radiación

Si  $f'$  es la dosis absorbida en un tejido expuesto a 1 C/kg para una exposición  $X$ , entonces la dosis total absorbida será:

$$D = f' * X$$

Para efectos de radioprotección es muy importante la velocidad con que se administra o se incorpora una cierta dosis de radiación al organismo. De aquí el concepto de Intensidad de la dosis.

# Efecto biológico de la radiación

Tabla Resumen

Parte Irradiada	DMP (Sv)	DMP (Sv)
	13 semanas	Anual (D acum)
Gónadas y formadores de sangre	0,03	0,05
Piel	0,08	0,30
Manos, brazos, antebrazos, pies y tobillos	0,20	0,75

# Efecto biológico de la radiación

## Velocidad de la Dosis

La velocidad de la dosis adquirida se estima conociendo el tipo de radiación, para la radiación gama se calcula usando:

$$D=0,5 \text{ CE}/r^2$$

D: velocidad de la dosis(rad/h);

C: intensidad de la fuente.(Ci)

E: Energía del gama (MeV);

r: distancia (m)

Para  $E > 1 \text{ MeV}$  la velocidad de la dosis resulta un poco sobrestimada. Si se requiere mayor precisión se debe hacer una curva para una fuente puntual de 1 Ci, que da la velocidad de la dosis a 1 m en función de la energía de la radiación.

# Radiotoxicidad

La radiotoxicidad corresponde a los efectos tóxicos del material radiactivo sobre un ser vivo. Estos efectos son cuantificables y pueden ir desde la irritación hasta la muerte.

Los diferentes radionuclidos presentan diferentes tipos de afinidades químicas y físicas con las especies biológicas.

Para minimizar estos efectos existen concentraciones máximas permisibles de diferentes radionuclidos para aire, agua y alimentos.

Los radionucleidos se clasifican en cuatro grupos según su radiotoxicidad: muy fuerte (1), fuerte (2), moderada (3) y baja (4).

<p><b>GROUP 1</b> Very high radiotoxicity</p>	$^{227}\text{Ac}$ , $^{241}\text{Am}$ , $^{252}\text{Cf}$ , $^{242}\text{Cm}$ , $^{244}\text{Cm}$ , $^{237}\text{Np}$ , $^{231}\text{Pa}$ , $^{210}\text{Pb}$ , $^{210}\text{Po}$ , $^{238}\text{Pu}$ , $^{239}\text{Pu}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Th}$ , $^{230}\text{Th}$ , $^{233}\text{U}$
<p><b>GROUP 2</b> High radiotoxicity</p>	$^{110}\text{Ag}^{\text{m}}$ , $^{109}\text{Cd}$ , $^{144}\text{Ce}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{134}\text{Cs}$ , $^{152}\text{Eu}$ , $^{125}\text{I}$ , $^{131}\text{I}$ , $^{106}\text{Ru}$ , $^{151}\text{Sm}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{\text{nat.}}\text{Th}$ , $^{232}\text{Th}$
<p><b>GROUP 3</b> Medium radiotoxicity</p>	$^{141}\text{Ce}$ , $^{143}\text{Ce}$ , $^{36}\text{Cl}$ , $^{57}\text{Co}$ , $^{58}\text{Co}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{169}\text{Er}$ , $^{152\text{m}}\text{Eu}$ , $^{55}\text{Fe}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{203}\text{Hg}$ , $^{192}\text{Ir}$ , $^{140}\text{La}$ , $^{54}\text{Mn}$ , $^{99}\text{Mo}$ , $^{22}\text{Na}$ , $^{24}\text{Na}$ , $^{63}\text{Ni}$ , $^{32}\text{P}$ , $^{147}\text{Pm}$ , $^{149}\text{Pm}$ , $^{191}\text{Pt}$ , $^{222}\text{Ra}$ , $^{86}\text{Rb}$ , $^{103}\text{Ru}$ , $^{124}\text{Sb}$ , $^{48}\text{Sc}$ , $^{75}\text{Se}$ , $^{113}\text{Sn}$ , $^{160}\text{Tb}$ , $^{234}\text{Th}$ , $^{204}\text{Tl}$ , $^{170}\text{Tm}$ , $^{48}\text{V}$ , $^{169}\text{Yb}$ , $^{65}\text{Zn}$
<p><b>GROUP 4</b> Low radiotoxicity</p>	$^7\text{Be}$ , $^{51}\text{Cr}$ , $^{64}\text{Cu}$ , $^3\text{H}$ , $^{129}\text{I}$ , $^{113\text{m}}\text{In}$ , $^{85}\text{Kr}$ , $^{220}\text{Rn}$ , $^{35}\text{S}$ , $^{31}\text{Si}$ , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , $^{\text{nat.}}\text{U}$ , $^{235}\text{U}$ , $^{133}\text{Xe}$

¿Como protegernos de la  
radiación?



# Protección Radiológica

## Justificación

La protección radiológica se basa en tres premisas fundamentales que apuntan a disminuir el riesgo al trabajar con material radiactivo o radiaciones.

Estas premisas son:

La justificación (para siempre utilizar la mejor y más razonada opción existente de protección),

La optimización (para que sean del más alto grado de tecnología y el mejor conocimiento) y,

La limitación de dosis (en inglés resumida como **As Low As Reasonably Achievable**) .

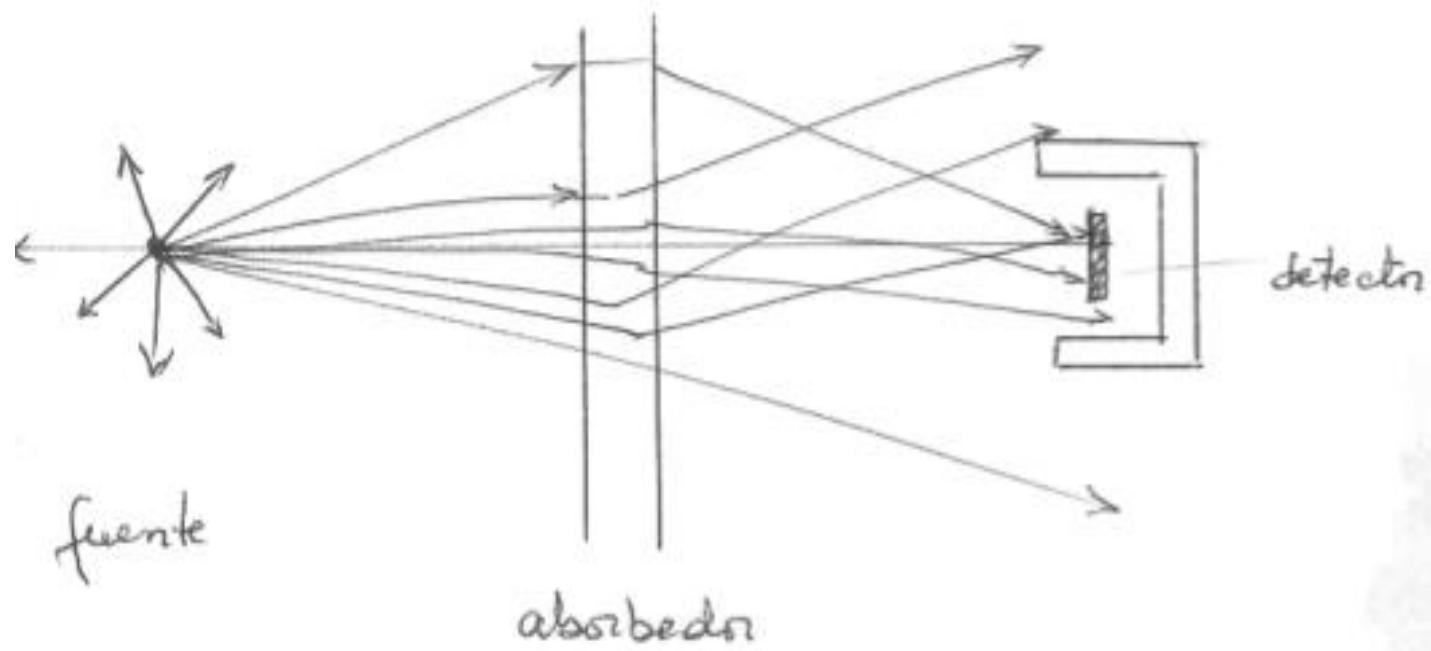
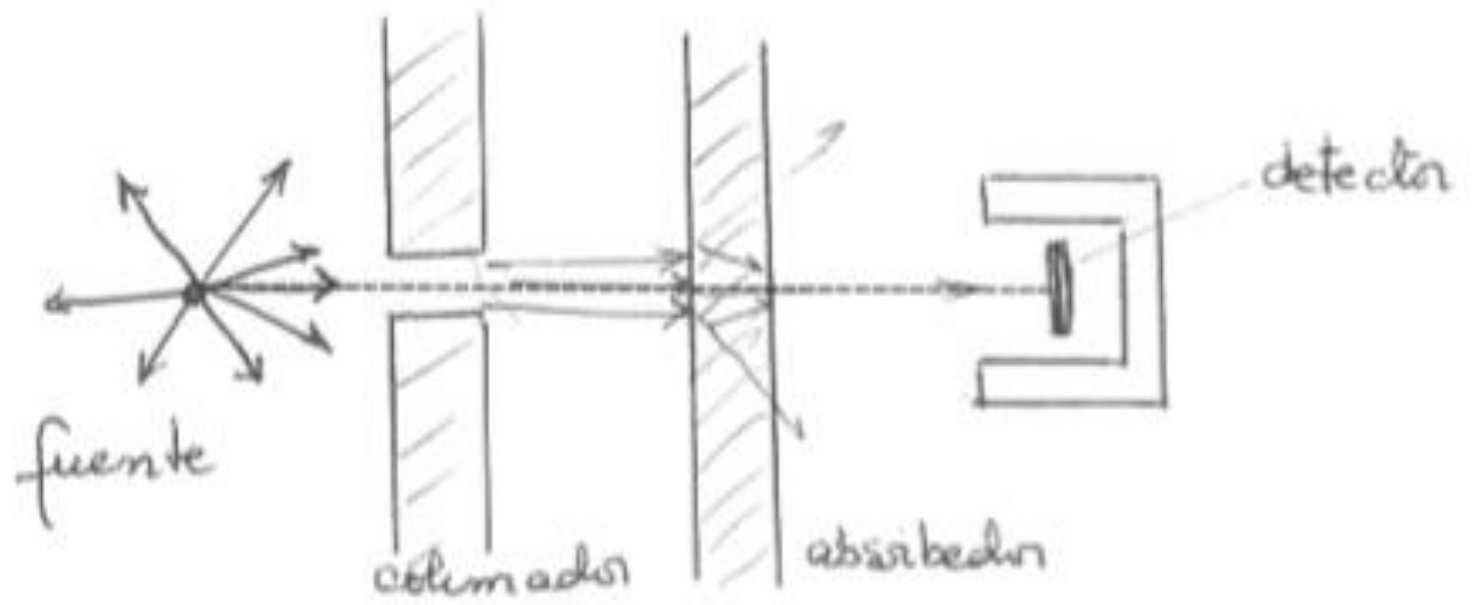
# Protección Radiológica

## Ley de absorción

Para poder determinar como detener las radiaciones hay que comprender los conceptos de haz colimado y no colimado.

Un haz colimado tiene un coeficiente de absorción lineal del material ( $\mu$ ) constante. Cumple la relación:

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



# Protección Radiológica

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

- Para que la dosis sea cero, el blindaje debiese ser infinito.
- Si los factores de material permanecen constantes, el factor de transmisión  $I/I_0$ , dependerá solo del espesor del material.
- El aumento de la intensidad de la fuente, aumenta la dosis proporcionalmente

**Menor tiempo**

**Mejor blindaje**

**Mayor distancia**

# Protección Radiológica

## Tiempo

En la mayoría de los casos el tiempo de exposición esta asociado de manera lineal a la dosis de irradiación interna.

Esto no debe impedir o perjudicar la realización de tareas “en caliente”, lo que implica que deben ser muy bien planificadas.

Este factor condiciona el diseño de reactores para simplificar su mantenimiento y reparación

- Rotación del personal
- No conformidades y urgencia

# Protección Radiológica

## Distancia

El aumento de la distancia reduce el flujo de cuentas sobre un ser vivo. Esto por probabilidad de colisión. Ante el aumento de distancia de una fuente puntual se cumple una relación del cuadrado de las distancias de la fuente.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

# Protección Radiológica

## Blindaje

La reducción de la actividad de la fuente se puede hacer de tres maneras:

- Esperando el decaimiento radiactivo natural (fuentes de vida media baja)
- Disminuyendo el material radiactivo de la fuente (limpieza y descontaminación)
- Bloqueando el paso de la radiación (blindaje)

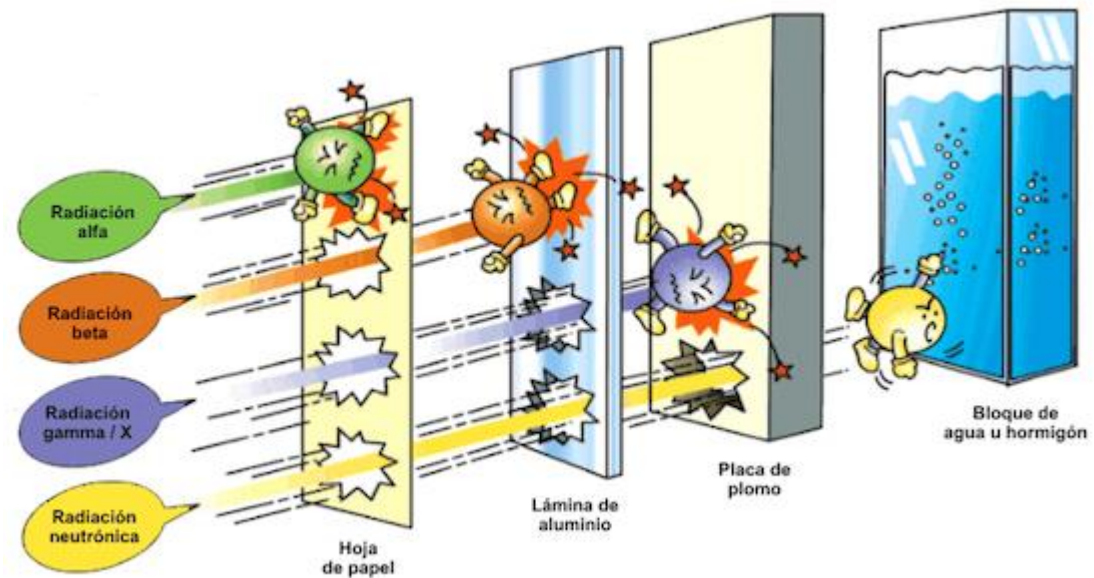


# Protección Radiológica

## Blindaje

Se denomina blindaje a todo sistema destinado a atenuar el campo de radiación por interposición de un medio material entre la fuente radiactiva y las personas a proteger.

Para partículas alfa (alcance reducido: 1 cm por MeV) y baja penetración basta la piel para una adecuada radioprotección.



# Protección Radiológica

## Blindaje

Para partículas beta el blindaje tiene por objeto evitar la irradiación en piel, cristalino y gónadas. La tasa de penetración de las partículas beta es limitada y se debe escoger un material capaz de interponerse ante toda la radiación.

Se cumple para  $Z$  bajo que el producto de la densidad por el alcance es constante. Por lo tanto, se puede calcular el espesor de la barrera conociendo la densidad del material, teniendo un gráfico de alcance versus energía.

Los materiales comunes para blindaje de beta- son vidrio, aluminio o agua; en general, materiales con bajos pesos moleculares)

Para partículas beta + a los materiales comunes para blindaje de beta-, con bajos pesos moleculares se debe adicionar una barrera de Pb, ya que el efecto de aniquilación de las partículas (beta + y beta -) al colisionar genera radiaciones gama que sólo se pueden atenuar con el plomo.

### Dose Rates from Gamma Emitters

Nuclide	Half-life	Principal Gamma Energies (MeV)	Dose rate at 1 m from 1 c (rads/h in tissue)
Antimony-124	60 d	0.60; 0.72; 1.69; 2.09	0.94
Arsenic-72	26 h	0.51*; 0.63; 0.835	0.97
Arsenic-74	18 d	0.51*; 0.596; 0.635	0.42
Arsenic-76	26.5 h	0.56; 0.66; 1.21; 2.08	0.23
Barium-140†	12.8 d	0.16; 0.33; 0.49; 0.54; 0.82; 0.92; 1.60; 2.54	1.19
Bromine-82	35.4 h	0.55; 0.62; 0.70; 0.78; 0.83; 1.04; 1.32; 1.48	1.40
Caesium-137	30 y	0.662	0.32
Cobalt-58	71 d	0.51*; 0.81; 1.62	0.53
Cobalt-60	5.26 y	1.17; 1.33	1.27
Gold-198	2.70 d	0.412; 0.68; 1.09	0.22
Iodine-131	8.04 d	0.28; 0.36; 0.64; 0.72	0.21
Iodine-132	2.3 h	0.52; 0.65; 0.67; 0.78; 0.95; 1.39	1.13
Iridium-192	74 d	0.296; 0.308; 0.316; 0.468; 0.605; 0.613	0.46
Iron-59	45 d	0.19; 1.10; 1.29	0.61
Manganese-52	5.7 d	0.51*; 0.74; 0.94; 1.43	1.79
Manganese-54	314 d	0.84	0.45
Potassium-42	12.4 h	1.52	0.13
Radium-226‡	1620 y	0.05—2.43	0.79
Sodium-22	2.6 y	0.51*; 1.28	1.15
Sodium-24	15.0 h	1.37; 2.75	1.77
Tantalum-182	115 d	0.068; 0.100; 0.222; 1.12; 1.19; 1.22; 1.23	0.64
Thulium-170	127 d	0.052; 0.084	0.002
Zinc-65	245 d	0.51*; 1.11	0.26

# Protección Radiológica

## Blindaje

Las radiaciones neutrónicas requieren el empleo de material blindante con alto contenido de hidrógeno. Ello asegura una buena eficiencia en la moderación y una rápida convergencia de altas energías (rápidos) a energías térmicas.

Se suele emplear agua, parafina, poliestireno u otros polímeros como aislantes.

El hormigón es opción para las instalaciones, porque no requiere controles ni mantenciones mayores y es bueno para blindar "campos mixtos"

# Normas y medidas de Protección

## Zonas de trabajo

Dependiendo de la forma en que puede ocurrir la irradiación del personal las zonas de trabajo se clasifican de la siguiente manera

- Zona de libre acceso: Se puede permanecer en ella sin superar la décima parte de los límites del personal expuesto
- **Zona vigilada:** Se puede superar la décima parte, pero es poco probable superar 3/10 de la dosis para los profesionales expuestos
- Zona controlada: No resulta improbable alcanzar 3/10 de la dosis para profesionales expuestos
- **Zona de permanencia limitada:** Existe riesgo de superar el límite de dosis a lo largo de un año laboral
- **Zona de acceso prohibido:** Existe riesgo de superar el límite de dosis en una sola exposición u operación

# Normas y medidas de Protección

Zonas de trabajo



# Normas y medidas de Protección

## Riesgos

Riesgos de irradiación: Siempre que una persona u objeto está próxima a una fuente, existe riesgo de irradiación. Son producidos tanto por fuentes encapsuladas como por las no encapsuladas.

Riesgos de contaminación: Siempre que sustancias radiactivas están presentes en un medio o superficie en los que son indeseables hay contaminación radiactiva.

La contaminación radiactiva se debe fundamentalmente a fuentes no encapsuladas, y en algunos casos a fuentes encapsuladas que han perdido su hermeticidad.

# Normas y medidas de Protección

## Dosimetria

**Dosimetría personal:** Para la protección radiológica utilizamos dosímetros personales que miden la dosis efectiva que recibe una persona al exponerse a fuentes de radiación, de forma directa o indirecta.

Existen dosímetros de pluma, de película, termoluminiscientes y los populares digitales que registran los datos en microSievert.

Dentro de las normas de seguridad también está un listado que indica quién entra al sector y cuál es la dosis inicial con la que llega, para luego compararla con la dosis al salir, la que no debe aumentar



# Normas y medidas de Protección

## Instalaciones

Entre las diferentes normas de seguridad para instalaciones nucleares están:

- Protecciones de Pb, que amortiguan de manera efectiva el paso de algunas radiaciones
- Paredes de concreto muy grueso
- Moderadores, como agua u otros materiales livianos que limitan el paso de radiaciones.
- Dosímetros personales y de ambiente, que permiten detectar de eventuales filtraciones al ambiente
- Zonas amplias que favorecen la ventilación
- Separación física de lugares donde se encuentran productos para irradiar y los ya irradiados

# Normas y medidas de Protección

## Residuos

La gestión de residuos radiactivos es el conjunto de actividades técnicas y administrativas que tienen por objeto acondicionar y controlar los residuos de forma que no causen daño ni a la salud ni a los bienes de las personas. Para realizar una buena gestión conviene tener en cuenta las siguientes precauciones generales:

- 1- Clasificación de los residuos radiactivos.
- 2- Caracterización
- 3- Segregación
- 4- Transporte interno
- 5- Almacenamiento
- 6- Evacuación



# Almacenamiento fiable de los residuos radiactivos

## Tecnologías de tratamiento de los residuos nucleares para su conservación

Una de las técnicas avanzadas de tratamiento de residuos radiactivos líquidos es su vitrificación



## El modo de almacenamiento de residuos nucleares depende de su actividad y desintegración radiactiva promedio



## Otras técnicas de tratamiento

- Tratamiento con betún fundido
- Tratamiento con pasta de cemento
- Incineración
- Tratamiento mediante tecnologías químicas y plasma

Casi la mitad de todos los residuos radiactivos del mundo están almacenados en 1.170 depósitos ubicados en 33 regiones de Rusia



¿Qué regula el manejo y uso del material nuclear?

# Legislación Nacional

Ley N° 18.302

LEY DE SEGURIDAD NUCLEAR.

Decreto N° 12 Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos. Ministerio de Minería.

Decreto N° 3 Reglamento de protección radiológica de instalaciones radioactivas. Ministerio de Salud.

Decreto N° 87 Reglamento de protección física de las instalaciones de los materiales nucleares. Ministerio de Minería.

Decreto N° 133 Reglamento sobre autorizaciones para instalaciones radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes, personal que se desempeña en ellas, u opere tales equipos. Ministerio de Salud.

# Legislación Nacional

## Tratados internacionales

Decreto N° 272 *Promulga la convención sobre seguridad nuclear, suscrita en Viena, el 20 de septiembre de 1994.*

Decreto N° 348 Acuerdo entre los Gobiernos de las Repúblicas de Chile y Ecuador sobre cooperación en el campo de los usos pacíficos de la energía nuclear, suscrito el 20 de diciembre de 1994.

Decreto N° 1.121 Promulga la convención sobre protección física de los materiales nucleares, adoptada en Viena, Austria, el 26 de octubre de 1979.

Decreto N° 377 Acuerdo entre Chile y el Reino de Tailandia para el intercambio de información sobre energía nuclear para fines pacíficos, suscrito el 27 de mayo de 1988.

Decreto N° 927 Acuerdo sobre cooperación en el campo de los usos pacíficos en energía nuclear, entre los Gobiernos de la República de Chile y la República de Guatemala, suscrito en Santiago de Chile, el 19 de abril de 1984.

# Conclusiones

## Radioprotección

Los efectos de la radiación sobre los organismos vivos son diversos y hasta letales. Por ello se han normado máximos de exposición para distintos tipos de personas.

El fundamento de la radioprotección es exponerse el menor tiempo, con el mejor blindaje a la mayor distancia.

Las normas y medidas de seguridad han sido consensuadas por la OIEA, dando señalizaciones, calculando riesgos y reconociendo metodologías para medir la exposición de quienes trabajan con radiaciones.

Cada país tiene su propia normativa en temas nucleares. Existen tratados internacionales que regulan algunas áreas y otras aún quedan bajo la jurisprudencia de cada país. En Chile la Ley Marco es la 18.302, del Ministerio de Minería.