

Fuentes y Residuos Radiactivos en la Auditoría Ambiental

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
(UVPROFEPA-101)



SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA



ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES



2022 Ricardo Flores
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

CONTENIDO:



1. Fundamentos de la Radiactividad
2. Gestión de Fuentes y Desechos Radiactivos
3. Normatividad
4. Auditoría Ambiental
5. Capacidades del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
6. Conclusiones y Clausura

Agosto 2022



Aspectos:

- Uso de celular (modo vibración).
- Respetar los horarios.
- Preguntar dudas.
- Mente abierta.
- Respeto y cortesía.
- Evaluación individual (salvo cuando se indique lo contrario)
- Respetar las medidas e instrucciones de seguridad
- Uso eficiente de los recursos



SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA



ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES



ININ:

Instituto del Gobierno Federal, dependiente de la Secretaría de Energía,
conformada por un grupo de especialistas en la gestión ambiental.
Con experiencia en auditorías ambientales desde el 2000.



KM. 36.5, Carretera México- Toluca, Municipio de Ocoyoacac, Edo. de México



SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA



ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES

Fundamentos de la Radiactividad



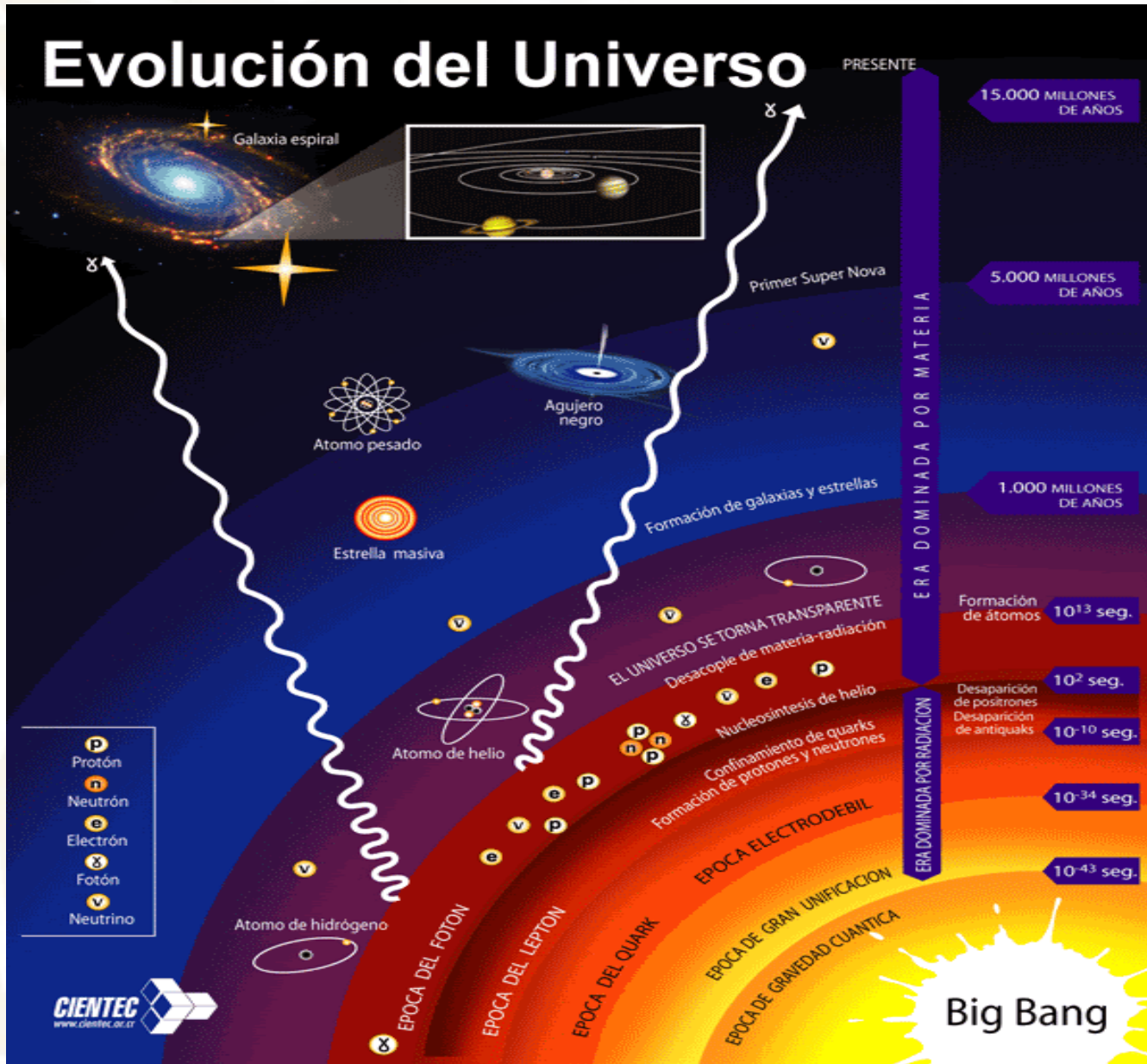
Fundamentos de la Radiactividad:



- Origen y Estructura Atómica
- Radiaciones ionizantes y su interacción con la materia, magnitudes y unidades
- Irradiación, contaminación y detección de la radiación
- Efectos biológicos y Riesgo radiológico



Fundamentos de la Radiactividad



Actualidad



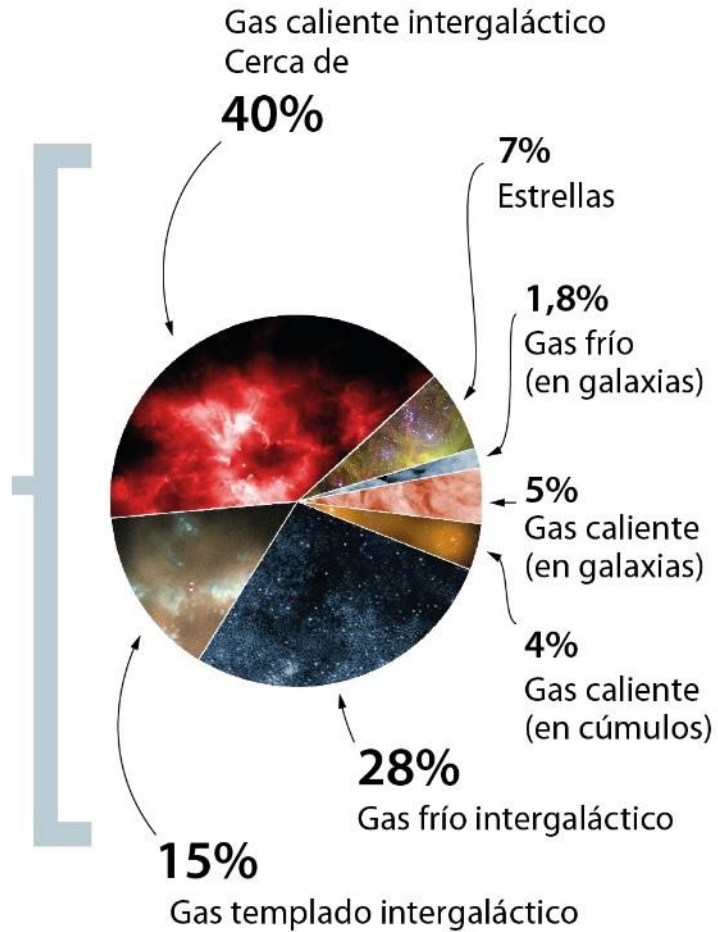
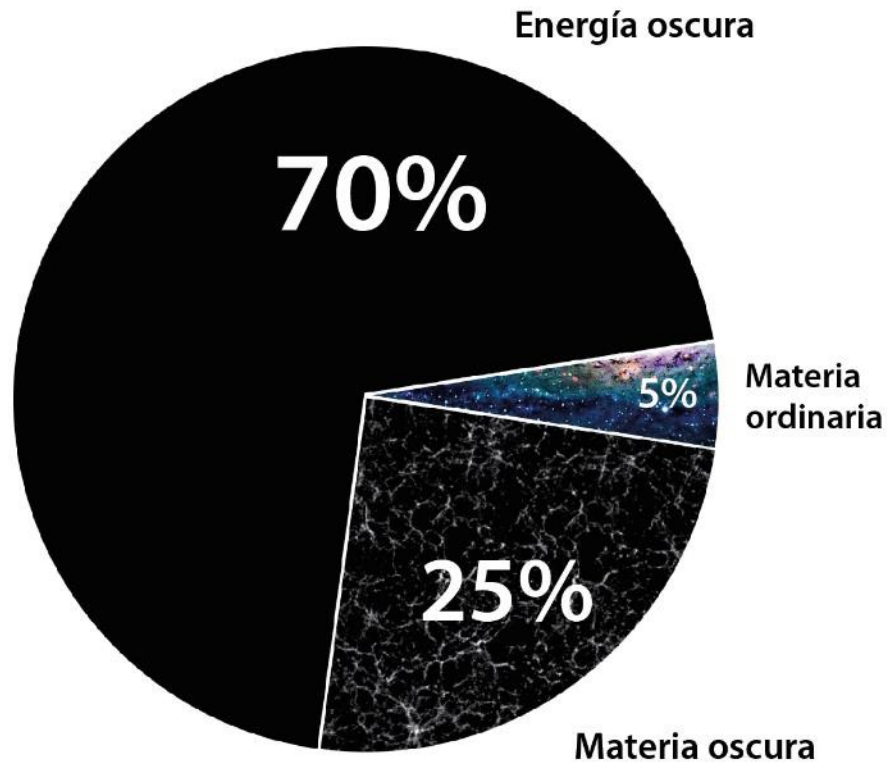
13,770 millones de años

El origen



Fundamentos de la Radiactividad

De qué está hecho el universo

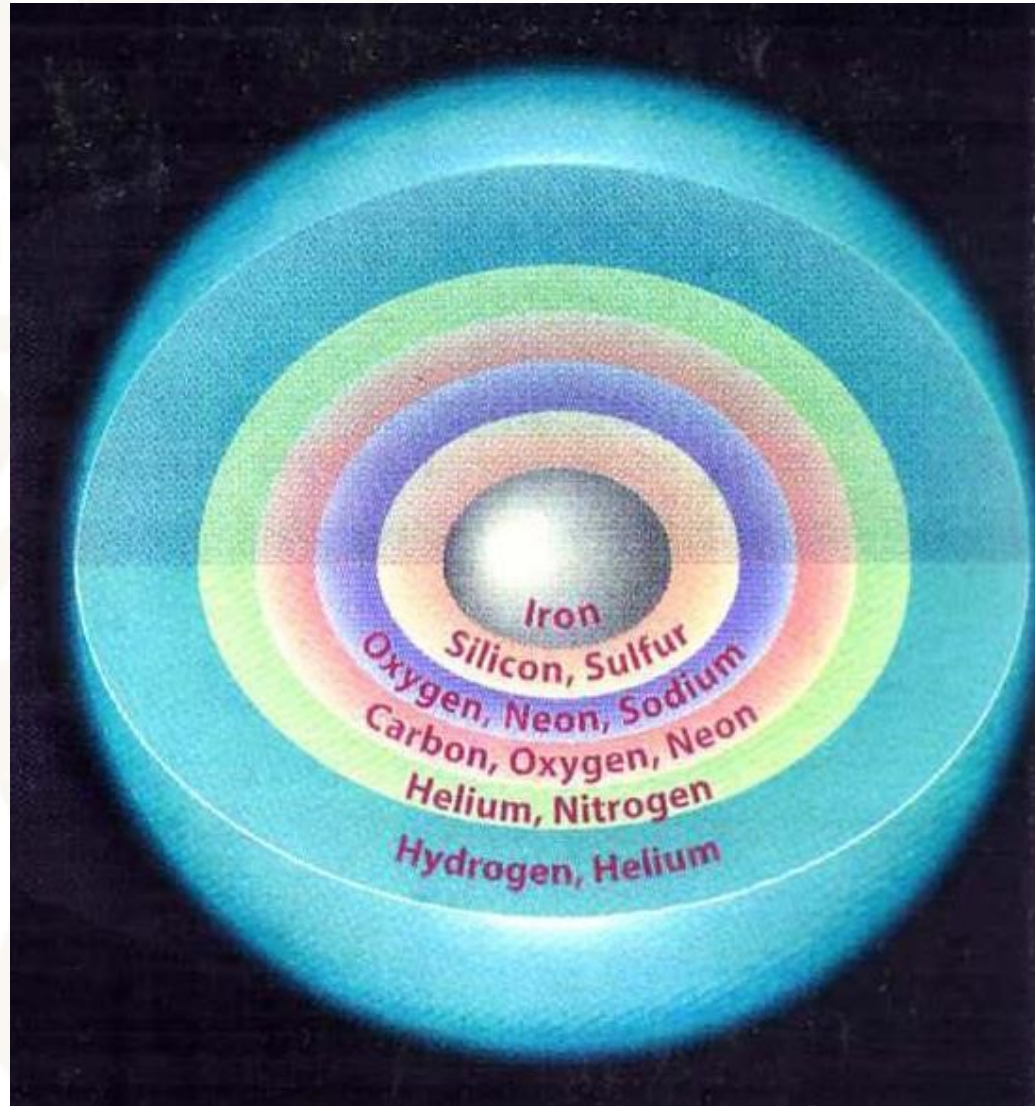


Fundamentos de la Radiactividad



Galaxias, estrellas, planetas, lunas, asteroides, cometas, etc.

Fundamentos de la Radiactividad

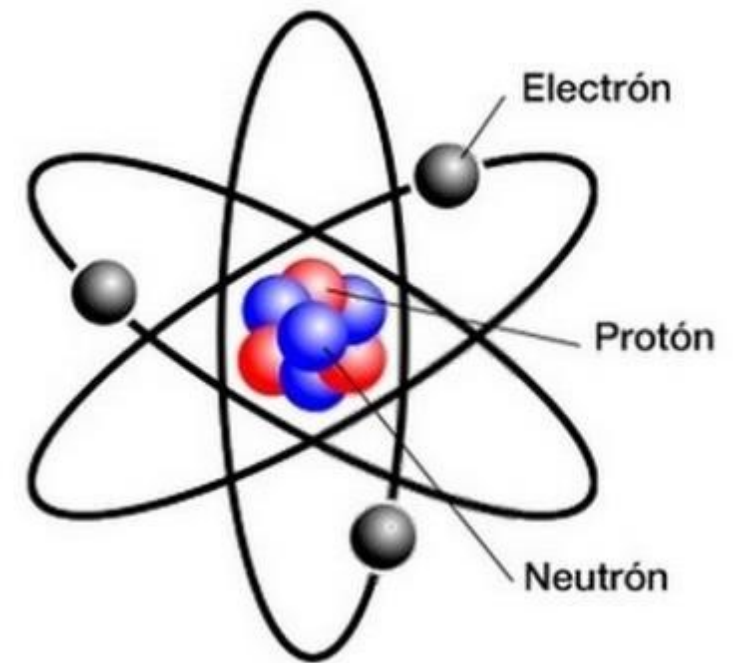


Una
estrella

Materia es todo aquello que ocupa un espacio y tiene masa. La materia está constituida por partículas llamadas **átomos**.

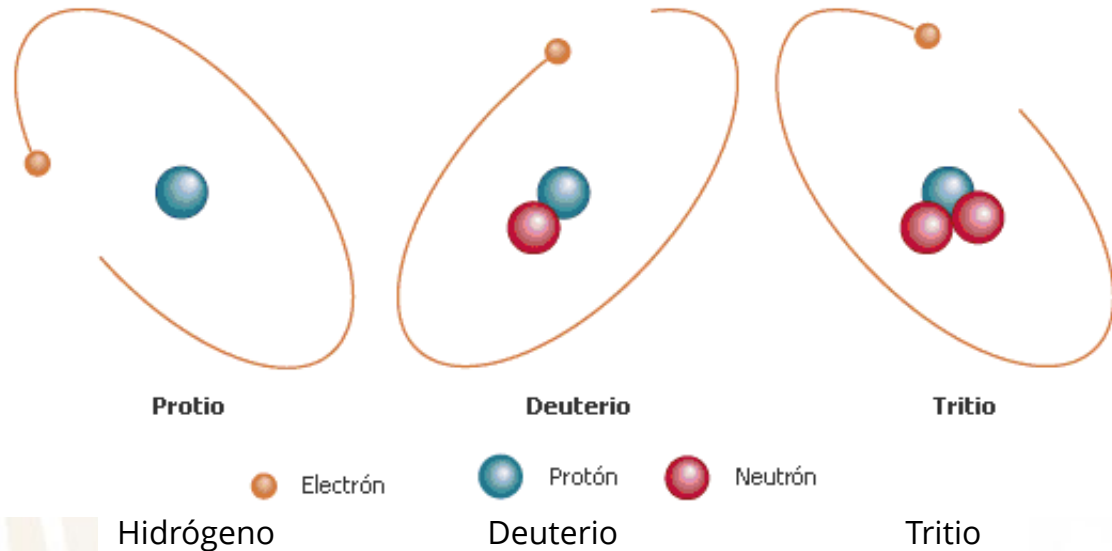
Átomos

- **Eléctricamente neutros**
- Núcleo – mayor concentración de toda la masa del mismo
- Núcleo – compuesto de protones (carga positiva) | neutrones (sin carga)
- Electrones – masa menor a la del protón y neutrón | carga negativa
- Electrones y protones – misma carga de signo opuesto (1.6×10^{-19} C)
- Átomo neutro contiene mismo número de protones y electrones
- Átomo cuando pierde uno o más electrones queda cargado positivamente. A éste se le llama **ión**.



ELEMENTO

- Los elementos son las formas más simples de la materia que pueden existir.
- La combinación de dos o más átomos forman una **molécula**.



- Cada elemento está caracterizado por tener en su núcleo el mismo número de protones; este se conoce como número atómico (Z)
- Si se combinan químicamente dos o más átomos de elementos diferentes la combinación se llama compuesto

NÚMERO ATÓMICO Y NÚMERO MÁSIICO

137

Suma de protones y neutrones
(Número másico)

CS

55

Protones
(Número atómico)

Símbolo del elemento químico

$$\text{Número de neutrones} \rightarrow N = 137 - 55 = 82$$

Todos los elementos de conocemos...

Tabla periódica de los elementos

grupo 1																	18	
periodo 1	1.00794 1 H Hidrógeno																	4.002602 2 He Helio
2	6.941 3 Li Litio	9.012182 4 Be Berilio											10.811 5 B Boro	12.0107 6 C Carbono	14.0067 7 N Nitrógeno	15.9994 8 O Oxígeno	18.998403 9 F Fluor	20.1797 10 Ne Neón
3	22.98976 11 Na Sodio	24.3050 12 Mg Magnesio											26.98153 13 Al Aluminio	28.0855 14 Si Silicio	30.97396 15 P Fósforo	32.065 16 S Azufre	35.453 17 Cl Cloro	39.948 18 Ar Argón
4	39.0983 19 K Potasio	40.078 20 Ca Calcio	44.95591 21 Sc Escandio	47.867 22 Ti Titanio	50.9415 23 V Vanadio	51.9962 24 Cr Cromo	54.93804 25 Mn Manganeso	55.845 26 Fe Hierro	58.93319 27 Co Cobalto	58.93319 27 Ni Níquel	63.546 29 Cu Cobre	65.38 30 Zn Zinc	69.723 31 Ga Galio	72.64 32 Ge Germanio	74.92160 33 As Arsénico	78.96 34 Se Selenio	79.904 35 Br Bromo	83.798 36 Kr Kriptón
5	85.4678 37 Rb Rubidio	87.62 38 Sr Estroncio	88.90585 39 Y Itrio	91.224 40 Zr Zirconio	92.90638 41 Nb Niobio	95.96 42 Mo Molibdeno	(98) 43 Tc Tecnecio	101.07 44 Ru Rutenio	102.9055 45 Rh Rodio	106.42 46 Pd Paladio	107.8682 47 Ag Plata	112.411 48 Cd Cadmio	114.818 49 In Indio	118.710 50 Sn Estado	121.760 51 Sb Antimonio	127.60 52 Te Teluro	126.9044 53 I Yodo	131.293 54 Xe Xenón
6	132.9054 55 Cs Cesio	137.327 56 Ba Bario	174.9668 71 Lu Lutecio	178.49 72 Hf Hafnio	180.9478 73 Ta Tantalio	183.84 74 W Wolframio	186.207 75 Re Renio	190.23 76 Os Osmio	192.217 77 Ir Iridio	195.084 78 Pt Platino	196.9665 79 Au Oro	200.59 80 Hg Mercurio	204.3833 81 Tl Talio	207.2 82 Pb Plomo	208.9804 83 Bi Bismuto	(210) 84 Po Polonio	(210) 85 At Astato	(220) 86 Rn Radón
7	(223) 87 Fr Francio	(226) 88 Ra Radio	(262) 103 Lr Lawrencio	(261) 104 Rf Rutherfordio	(262) 105 Db Dubnio	(266) 106 Sg Seaborgio	(264) 107 Bh Bohrio	(277) 108 Hs Hassio	(268) 109 Mt Meitnerio	(271) 110 Ds Darmstadtio	(272) 111 Rg Roentgenio	(285) 112 Cn Copernicio	(284) 113 Uut Ununtrio	(289) 114 Fl Flerovio	(288) 115 Uup Ununseptio	(292) 116 Lv Livermorio	117 Uus Ununseptio	(294) 118 Uuo Ununoctio

masa atómica o número másico del isótopo más estable: 55.845

1.ª energía de ionización en kJ/mol: 762.5

simbolo químico: Fe

nombre: Hierro

configuración electrónica: [Ar] 3d⁶ 4s²

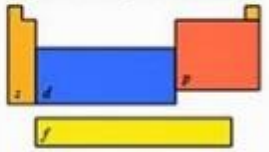
número atómico: 26

electronegatividad: 1.83

estados de oxidación más comunes están en negro: +2, +3, +6

- metales alcalinos
- alcalinotérreos
- otros metales
- metales de transición
- lantánidos
- actinidos
- metaloides
- no metales
- halógenos
- gases nobles
- elementos desconocidos
- masas de elementos radiactivos entre paréntesis

bloques de configuración electrónica



notas

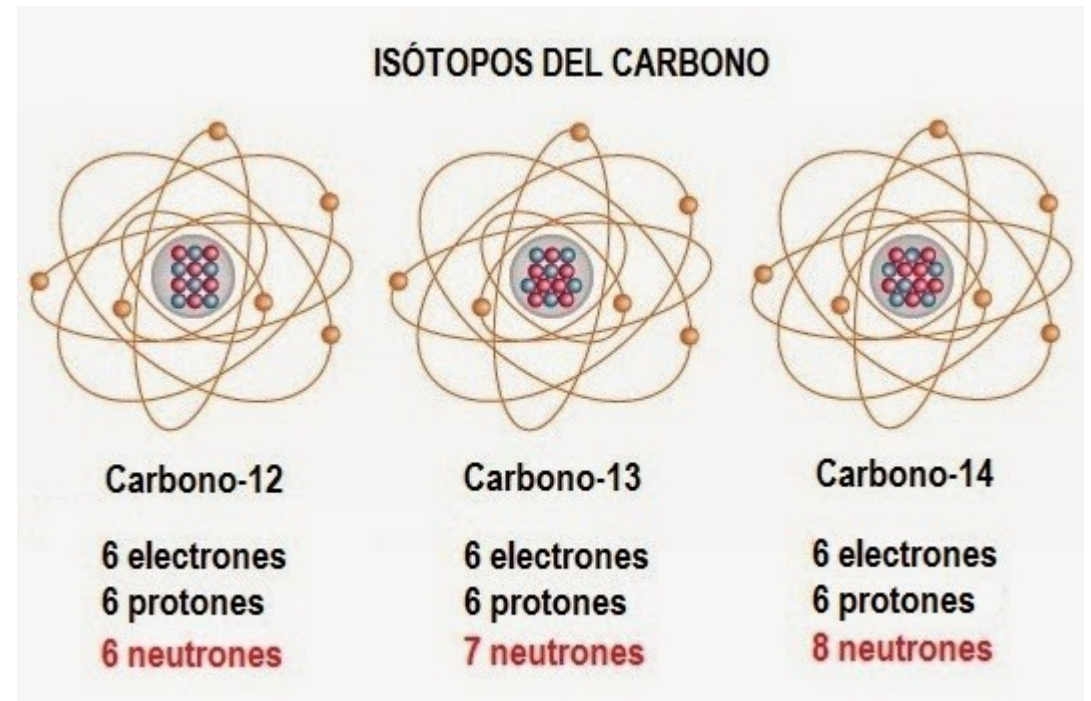
- por ahora, los elementos 113, 115, 117 y 118 no tienen nombre oficial designado por la IUPAC.
- 1 kJ/mol = 96.485 eV.
- todos los elementos tienen un estado de oxidación implícito cero.

138.9054 57 La Lantano	140.116 58 Ce Cerio	140.9076 59 Pr Praseodimio	144.242 60 Nd Neodimio	(145) 61 Pm Prometio	150.36 62 Sm Samario	151.964 63 Eu Europio	157.25 64 Gd Gadolinio	158.9253 65 Tb Terbio	162.500 66 Dy Disprosio	164.9303 67 Ho Holmio	167.259 68 Er Erbio	168.9342 69 Tm Tulio	173.054 70 Yb Yterbio
(227) 89 Ac Actinio	232.0380 90 Th Torio	231.0368 91 Pa Protactinio	238.0289 92 U Uranio	(237) 93 Np Neptunio	(244) 94 Pu Plutonio	(243) 95 Am Americio	(247) 96 Cm Curcio	(247) 97 Bk Berkelio	(251) 98 Cf Californio	(252) 99 Es Einsteinio	(257) 100 Fm Fermio	(258) 101 Md Mendelevio	(259) 102 No Nobelio

ISÓTOPOS

Los **núcleos** que **tienen el mismo número atómico** (núclidos o radionúclidos) pero diferente número de masa, son conocidos como **isótopos**.

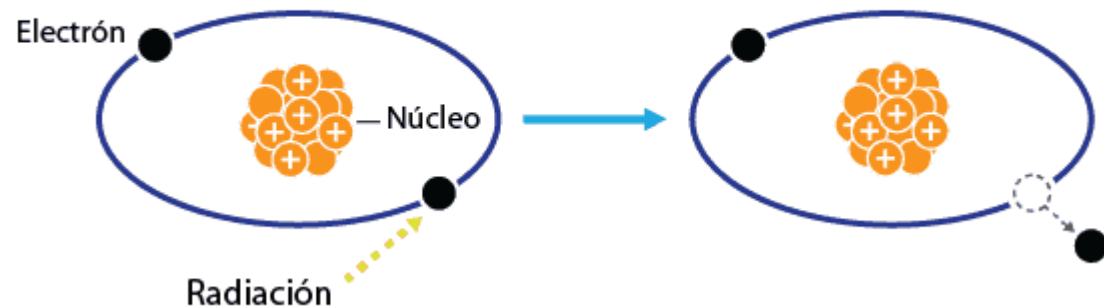
- Isótopos de un elemento tienen el **mismo número de protones** pero **diferente número de neutrones**.
- Tienen también **propiedades atómicas diferentes**.



LOS HECHOS

- Los átomos son conjuntos **eléctricamente neutros** constituidos por tres partículas fundamentales: **neutrón, protón y electrón**.
- Electrones se mantienen girando en regiones adyacentes al núcleo y **si no existe ninguna influencia externa**, lo seguirán haciendo así indefinidamente

Radiación ionizante



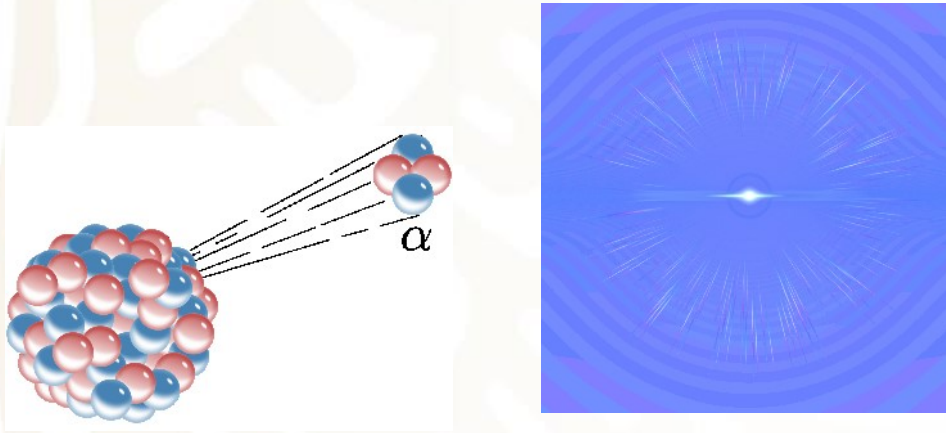
Si se transfieren electrones al átomo o del átomo hacia el exterior, este átomo modificado se llama **ión**.

La interacción con la radiación gamma, los rayos X o las partículas cargadas, los electrones son desprendidos de los átomos de interés.

Radiaciones ionizantes

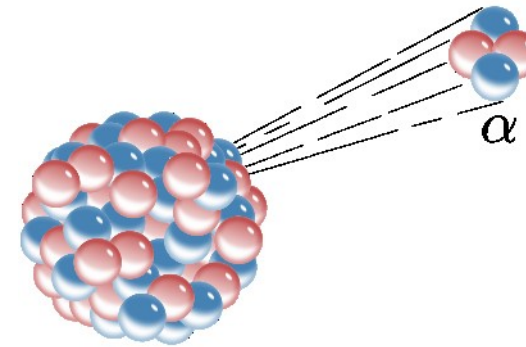
RADIACIÓN

Es la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material

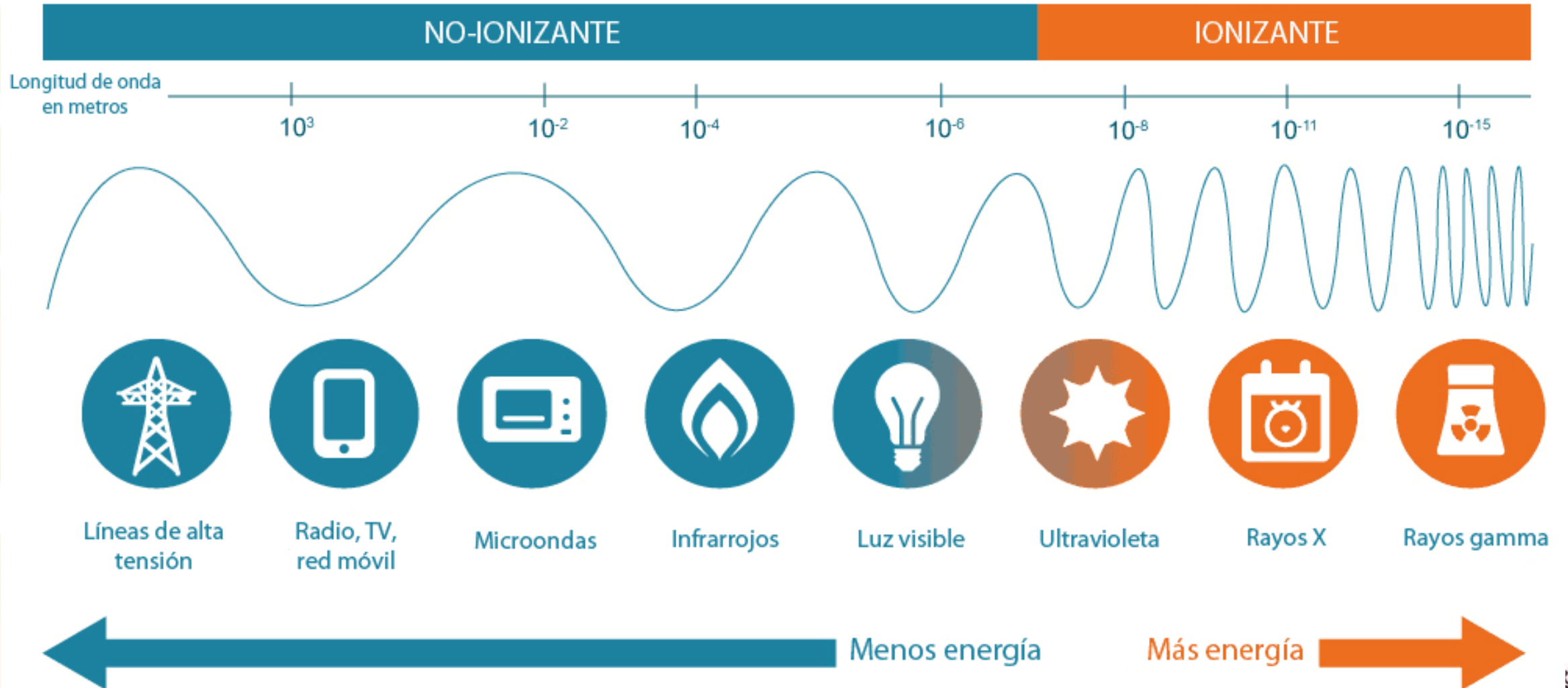


RADIOACTIVIDAD

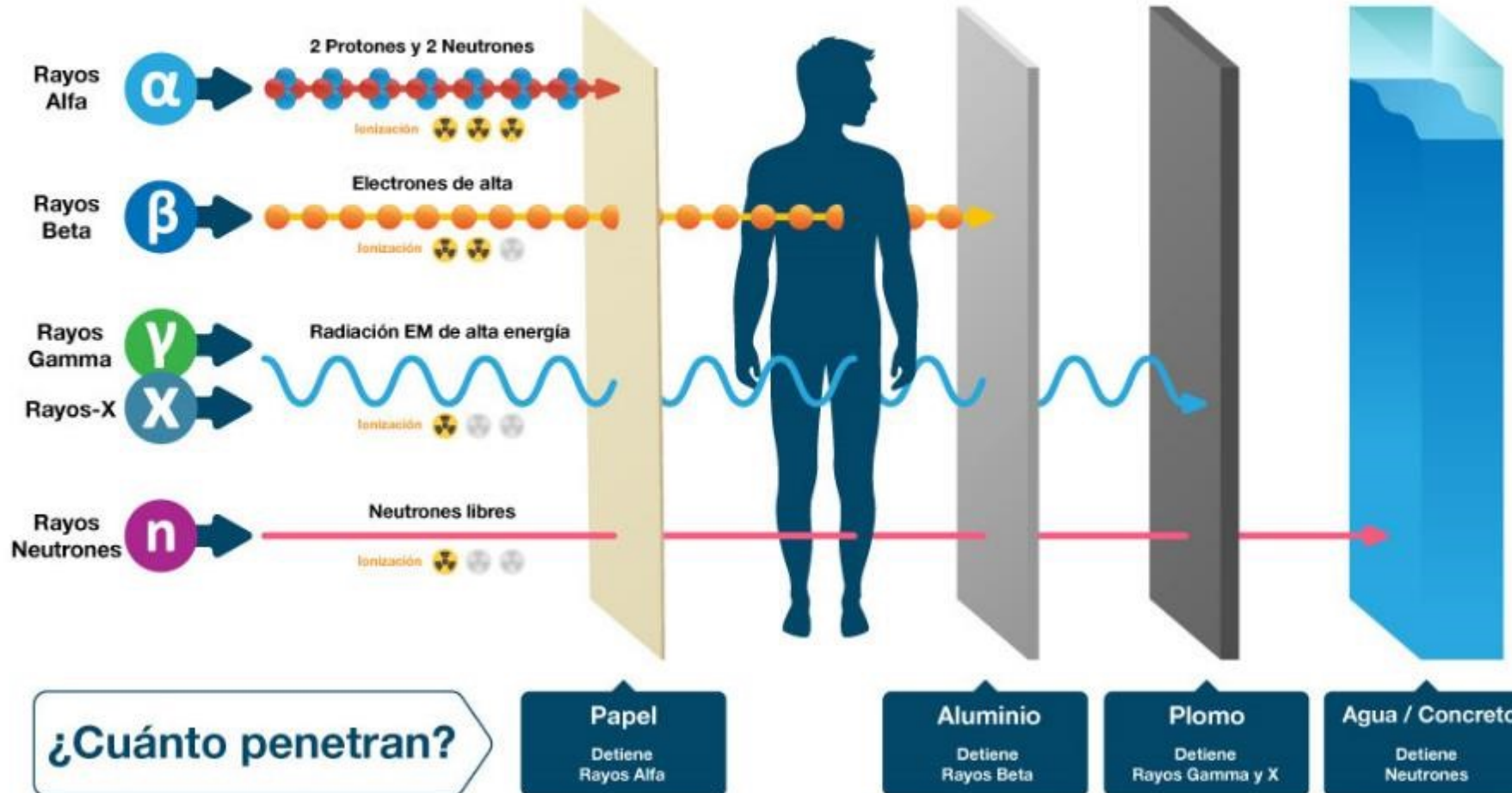
Fenómeno que presenta un **núcleo inestable** al **emitir partículas** y/o **fotones** para alcanzar su estabilidad.



Espectro Electromagnético



TIPOS DE RADIACIÓN





TIPOS DE RADIACIÓN


Radiación

Corpuscular
(partículas)

Partículas
cargadas

Alfas ${}^4_2\alpha^{2+}$ 

Beta (-) β^{-} 


Beta (+) β^{+} 

Partículas
sin carga

→ Neutrones 1_0n 

Radiación
electro-
magnética

Origen: capa
electrónica

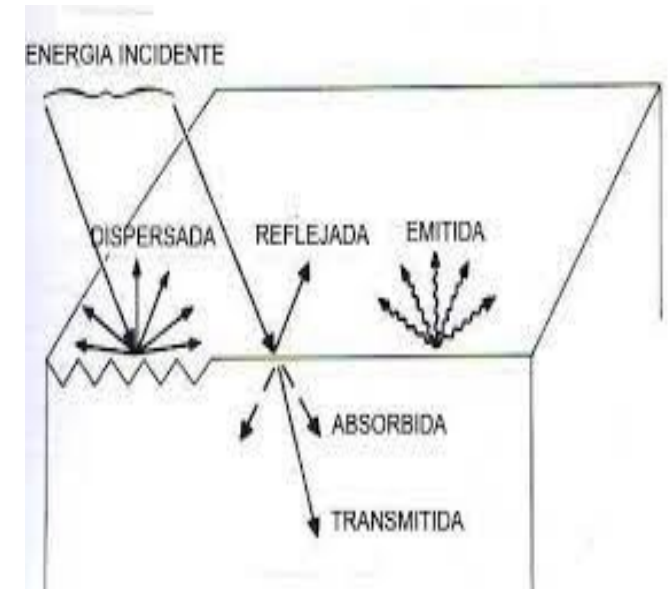
→ Rayos X 

Origen Nuclear

→ Rayos γ
Gamma 

Interacción radiación - Materia

El estudio de la interacción de la radiación con la materia es importante para entender el funcionamiento de los detectores, para calcular blindajes o bien, para entender algunas modificaciones que pueden ocurrir en el material con el que interacciona.



PARTÍCULAS CARGADAS

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

NEUTRONES

Interacción de la radiación el cuerpo humano



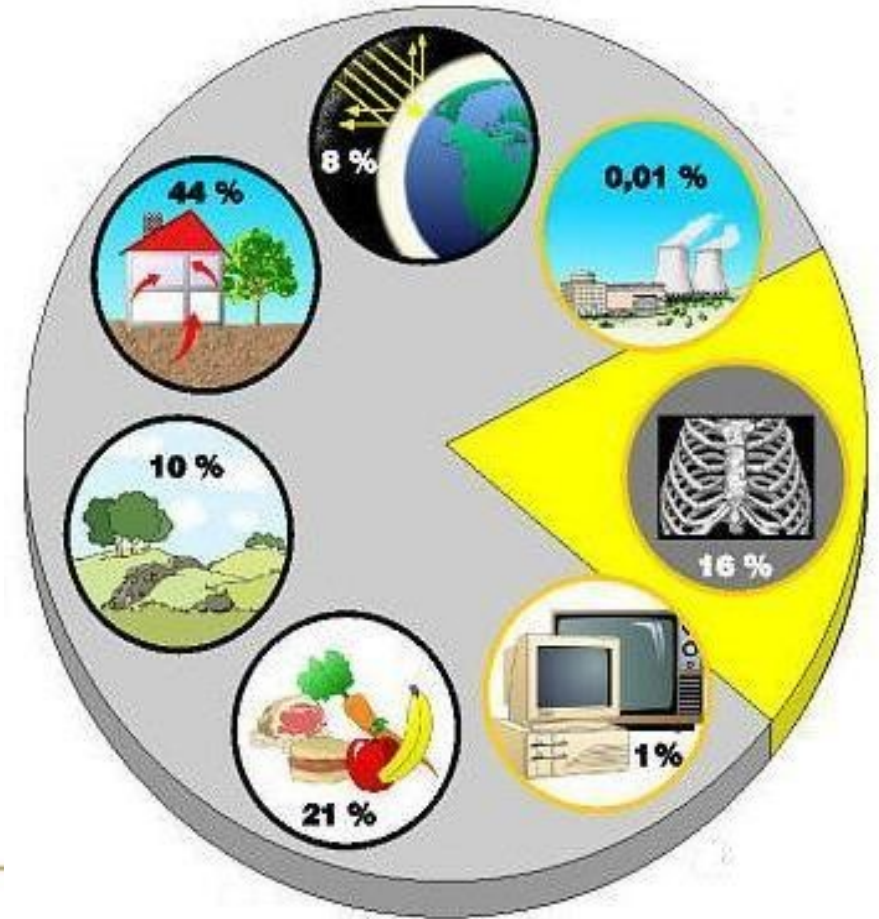
Interacción de la radiación con la materia

Radiactividad Natural en la Comida

Comida	^{40}K pCi/kg	^{226}Ra pCi/kg
Plátano	3,520	1
Nueces	5,600	1,000-7,000
Zanahorias	3,400	0.6-2
Patatas	3,400	1-2.5
Cerveza	390	---
Carne Roja	3,000	0.5
Limón	4,640	2-5
Agua del Grifo	---	0-0.17

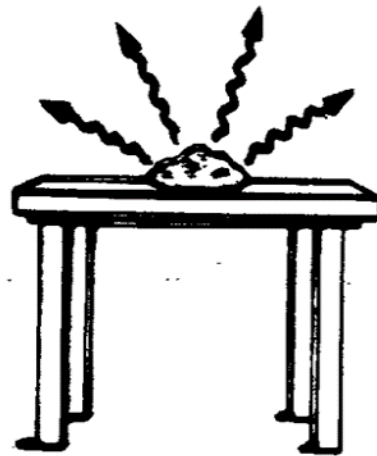
Los principales isótopos radiactivos que contiene el cuerpo humano son el ^{40}K , ^{14}C y ^3H .

La radiación interna proviene de las sustancias radiactivas presentes en los alimentos, en el agua y en el aire.



Magnitudes y unidades

La **Actividad** depende de la cantidad de material radiactivo, y es medida en **Becquerel, (Curie)**



Dosímetro para medir el **Equivalente de Dosis** al hombre medida en **Sievert, (rem)**

Exposición, cuantifica la intensidad de rayos γ o X en el aire medida en **C/kg, (Roentgen)**



Dosis absorbida por los materiales, medida en **Gray, (rad)**

Magnitudes y unidades

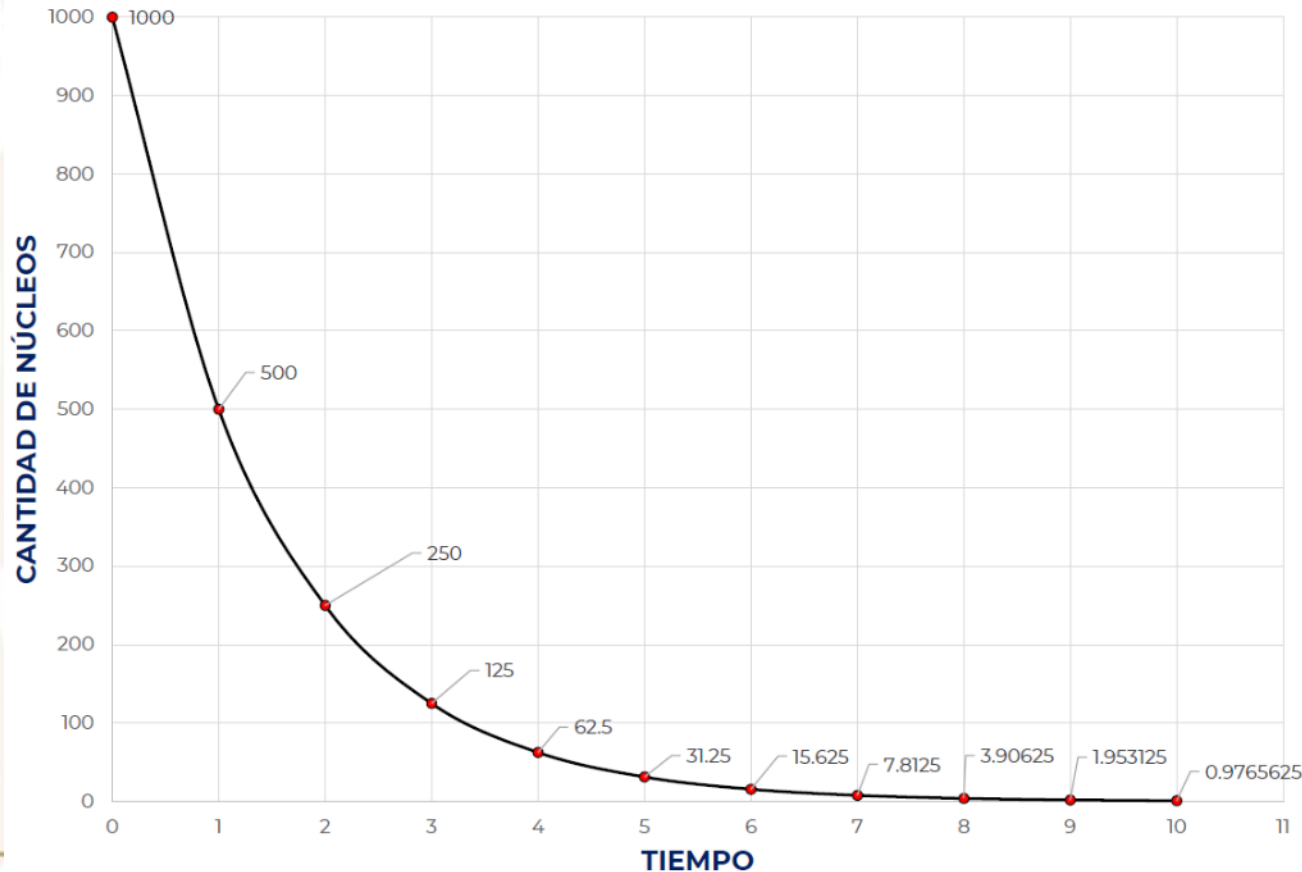
UNIDADES RADIOLÓGICAS

Magnitud	Símbolo de la Magnitud	Nombre de la Unidad	Símbolo de la Unidad	Unidades y equivalencias
Actividad	A	Becquerel	Bq	s^{-1} (dps)
		Curie	Ci	1 Ci = 3.7×10^{10} Bq
Exposición (rayos X y γ)	X	Coul. por kg	$C/kg_{(aire)}$	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
		Roentgen	R	1 C/kg = 3876 R
Dosis Absorbida	D	Gray	Gy	$J/kg_{(material)}$
		Roentgen Absorbed Dose	rad	1 Gy = 100 rad
Equivalente de Dosis	H	Sievert	Sv	$J/kg_{(tejido)}$
		Roentgen Equivalent Man	rem	1 Sv = 100 rem

Vida Media

Es el **tiempo necesario** para que la **actividad de una muestra radiactiva** se **reduzca a la mitad** de su valor original.

DECAIMIENTO RADIATIVO



$$\lambda = \frac{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}{t}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}{\lambda}$$

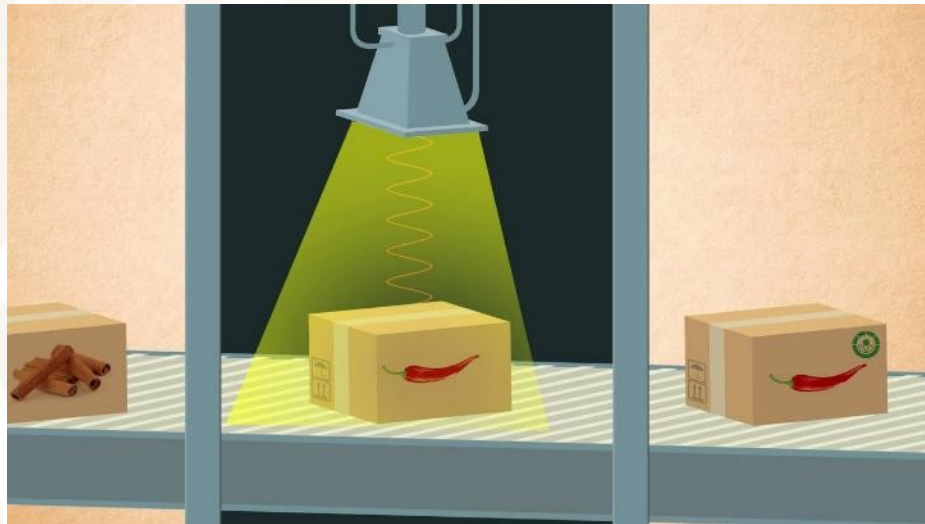
VIDA MEDIA EFECTIVA

Órgano	Radionúclido	VIDA MEDIA		
		Radiactiva	Biológica	Efectiva
Cuerpo entero	^3H	12.26 años	12 días	11.97 días
Huesos	^{90}Sr	27.7 años	49.3 años	17.74 años
Huesos	^{239}Pu	24390 años	200 años	198.4 años
Tiroides	^{131}I	8.05 días	138 días	7.6 días
Cuerpo entero	^{60}Co	5.26 años	9.5 días	9.45 días
Bazo	^{59}Fe	45.6 días	600 días	42.38 días
Hígado	^{115}Cd	53.5 horas	200 días	52.9 días

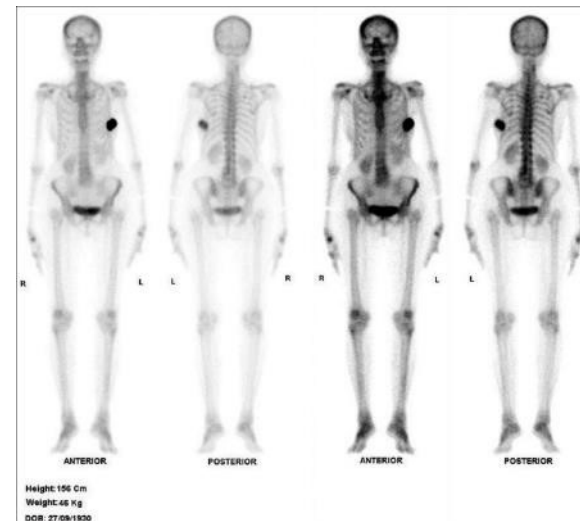
IRRADIACIÓN

Someter un objeto (cual sea) a un campo de radiación ionizante. Es decir, **el cuerpo** recibe o **absorbe** radiación ionizante.

Se clasifica **dependiendo** del lugar en **que se encuentre la fuente de irradiación.**



IRRADIACIÓN
EXTERNA



IRRADIACIÓN
INTERNA

DOSIS POR RADIACIÓN

IRRADIACIÓN **EXTERNA**



Tipo de radiación

Energía y poder de penetración

Tiempo de exposición

Vida media radiactiva

IRRADIACIÓN **INTERNA**

Tipo de radiación

Energía y poder de penetración

Vida media efectiva

Vida media

radiactiva



FUENTES RADIOACTIVAS

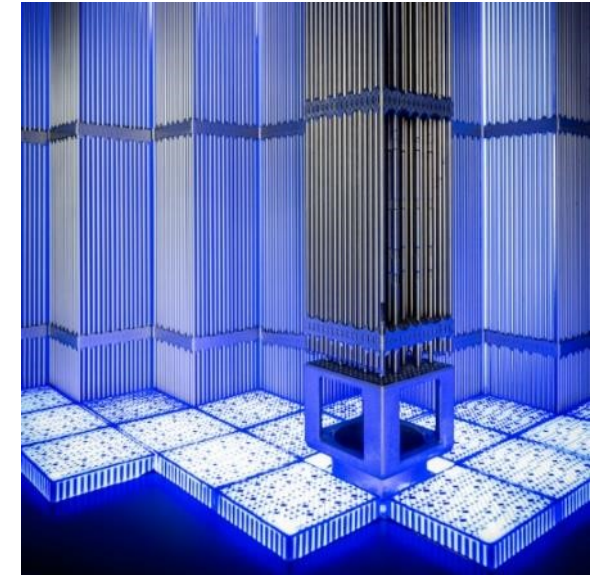
FUENTES
RADIOACTIVAS

Por su forma

Puntuales, planas, longitudinales, cilíndricas

Por su contención:

Abiertas y selladas

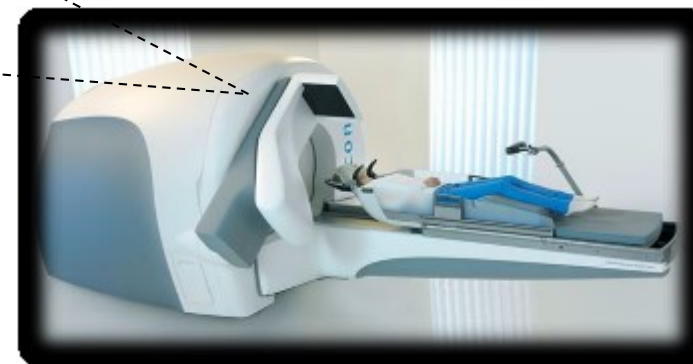


FUENTES SELLADAS

Son aquellas en las cuales el material radiactivo está contenido en una **envoltura hermética** de **suficiente resistencia mecánica** para impedir que se **establezca contacto con el radionúclido** o que la sustancia radiactiva se disperse en las condiciones normales de utilización y desgaste



Combustible nuclear



Gamma Knife (^{60}Co)

FUENTES ABIERTAS

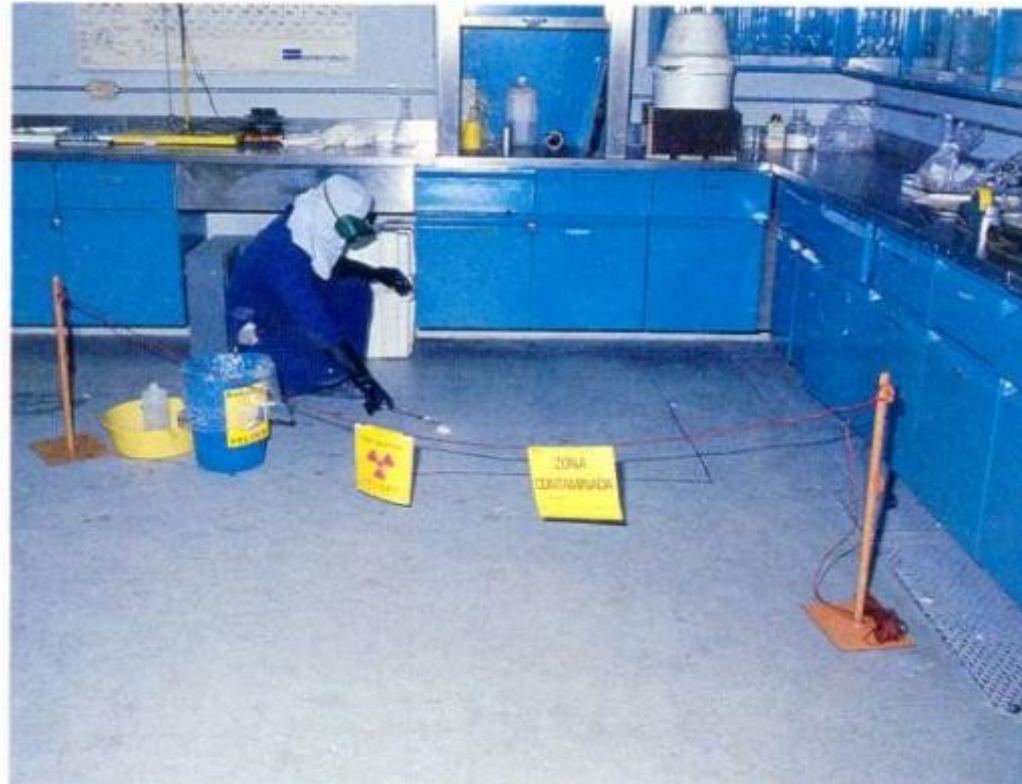
Son aquellas en las cuales el **material radiactivo** está contenido en una **envoltura** que **no está herméticamente cerrada** y que en las **condiciones normales de uso puede producir contaminación.**



DetECCIÓN DE LA RADIACIÓN

Se basa en el efecto que produce la radiación
Sobre la materia con la que interacciona
(Ionización y/o excitación).

Una vez definido el objetivo
que se persigue, se debe elegir
y utilizar el equipo adecuado,
además de interpretar
correctamente los resultados
obtenidos.



Detección de la radiación

1) VOLUMEN SENSIBLE: en esta región incide la radiación y es donde se producen las interacciones informativas.



2) COMPONENTES ESTRUCTURALES: contienen y limitan al volumen sensible del detector.

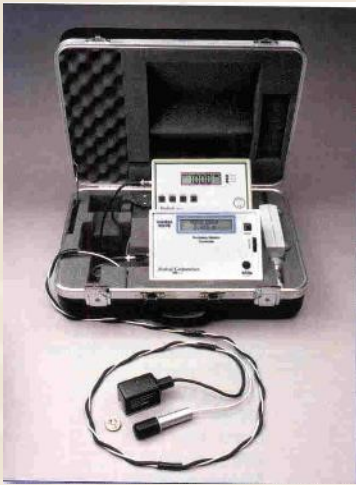


3) VENTANA: parte de la componente estructural por la cual puede penetrar más fácilmente la radiación, siendo prácticamente transparente a la misma.

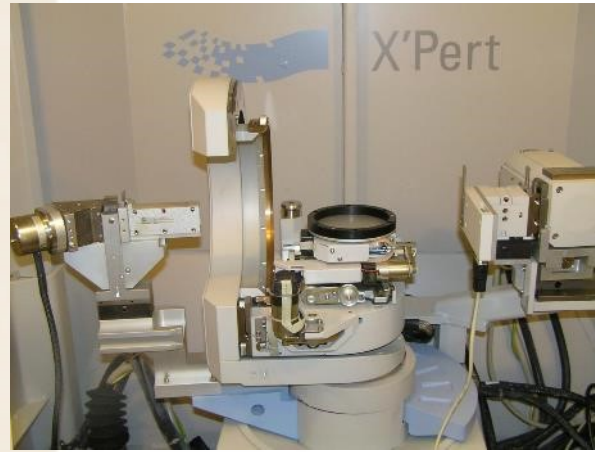


4) ACOPLAMIENTO: medio por el cual es posible acoplar el detector a la electrónica asociada





CÁMARAS DE IONIZACIÓN



PROPORCIONALES



Geiger Müller.



CENTELEO



ESTADO SÓLIDO



DETECTORES PORTÁTILES

CONTAMINACIÓN

Presencia indeseable de sustancias radiactivas, sobre o dentro de un objeto o una persona.



EN EL REGLAMENTO GENERAL DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA Y EN LA **NOM-008-NUCL-2011** EMITIDOS POR LA **CNSNS** SE ESTABLECEN LOS LÍMITES DE CONTAMINACIÓN.

FUENTES DE CONTAMINACIÓN

- Salpicaduras accidentales
- Transporte de material radiactivo y extracción de su contenedor de transporte
- Contaminación del contenedor (empaquete deficiente)
- Operaciones químicas dentro del área (evaporación, extracción, etc.).

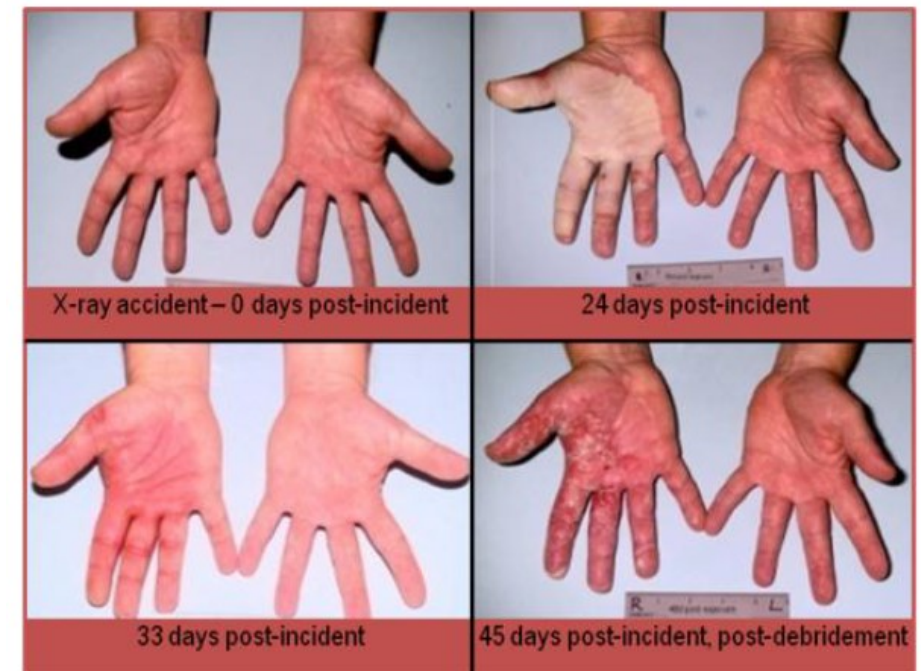


IRRADIACIÓN INTERNA

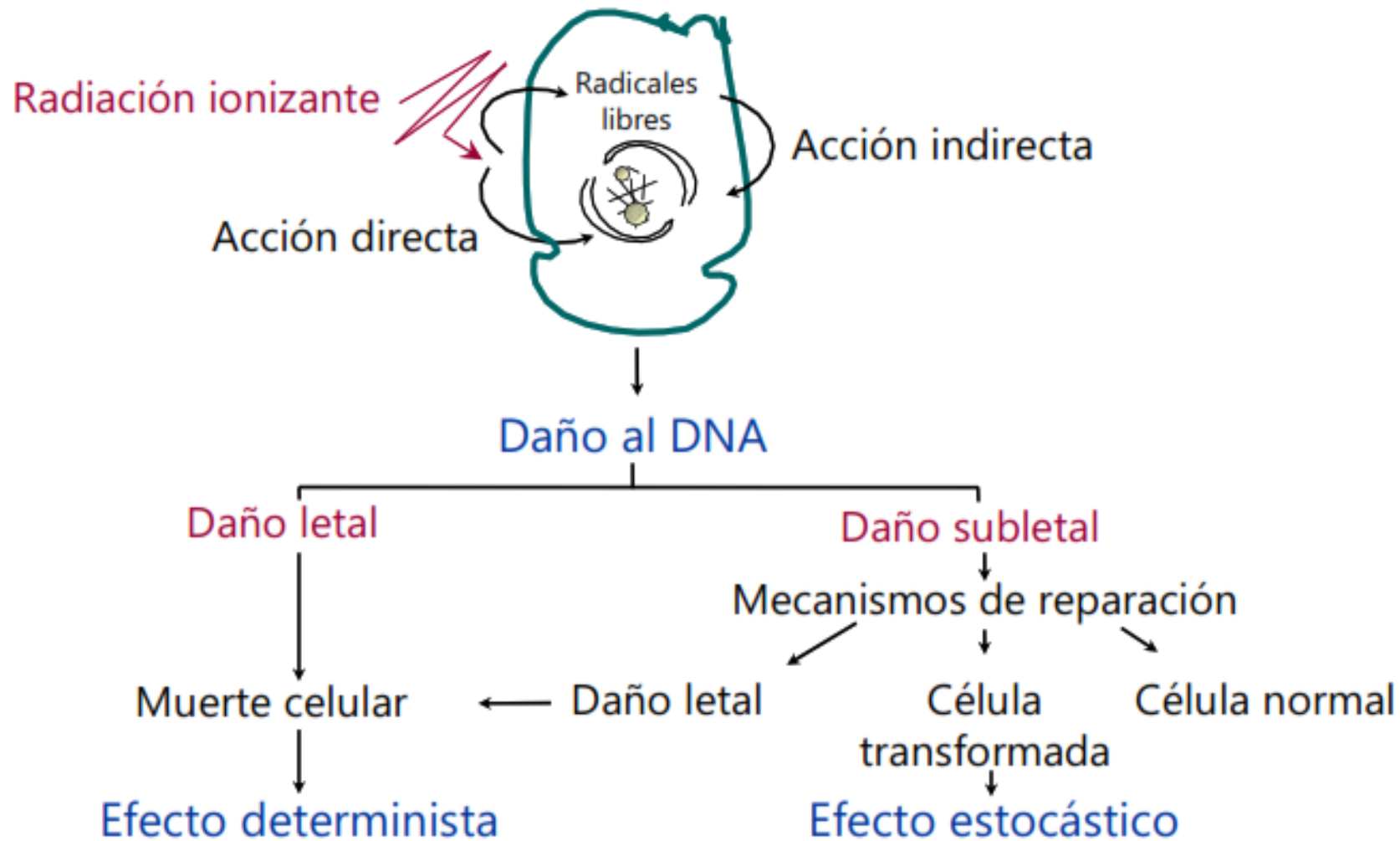
La radiación interna tiene lugar cuando hay incorporación de material radiactivo en el cuerpo u objeto.

La única forma de no presentar irradiación interna es **evitar** la incorporación de material radiactivo.

- Oral
- Intravenoso
- Transdérmico
- Intramuscular
- Tópica
- Nasal
- Ótico
- Oftálmico
- **NO INGERIR NINGÚN TIPO DE ALIMENTOS EN ÁREAS CONTROLADAS.**



EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN



Efectos estocásticos

Efectos deterministas

Mecanismo

**Lesión subletal
una o pocas células**

**Lesión letal
muchas células**

Naturaleza

Somáticos o heredables

Somáticos

Gravedad

Independiente de dosis

Dependiente de dosis

Dosis umbral

No

Sí

**Relación
dosis-efecto**

Lineal-cuadrática

Lineal

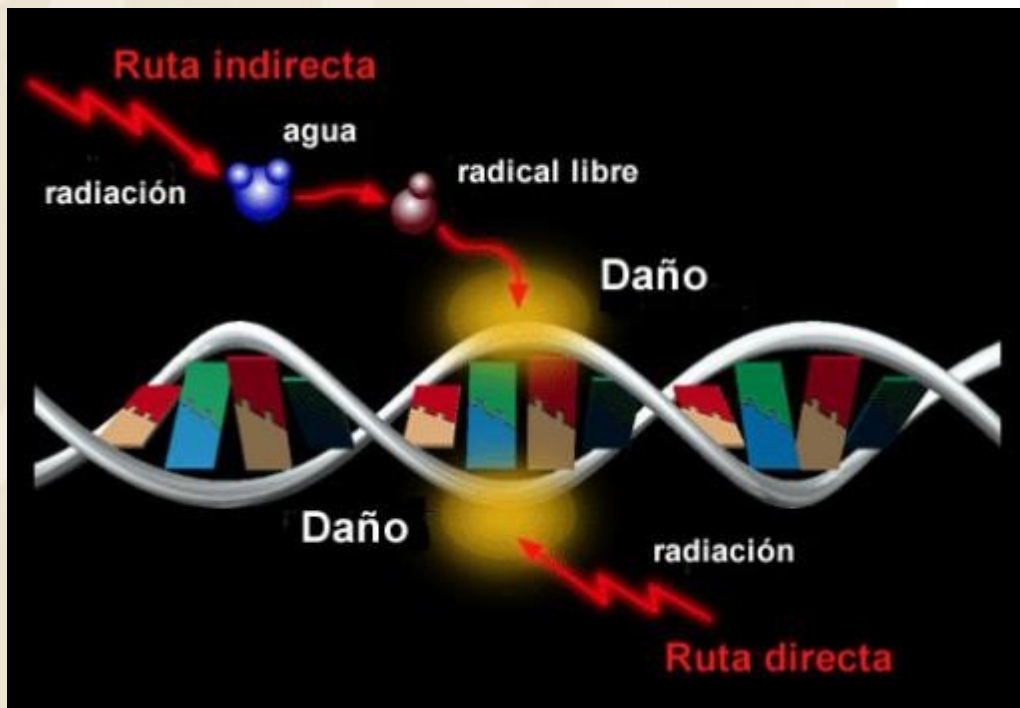
Aparición

Tardía

Inmediata o tardía

CLASIFICACIÓN DEL DAÑO CELULAR

El **daño** se podrá clasificar dependiendo del lugar en la que esta se produzca. Podrán ser **directo** e **indirecto**.



Directo

Produce cambios en su estructura o en su función por la ionización de una macromolécula, por ejemplo, un daño físico en la estructura del ADN.

Indirecto

Produce daños a través de reacciones químicas iniciadas por la radiólisis del agua.

FUENTES DE RADIACIÓN

Fuentes De Radiación

Naturales

Externa

Rayos cósmicos (n, p, γ , β , ${}^7\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}$, ${}^{14}\text{C}$, ${}^{22}\text{Na}$, ${}^{24}\text{Na}$, etc.)

Corteza terrestre (${}^{40}\text{K}$, ${}^{238}\text{U}$, ${}^{232}\text{Th}$)

Interna

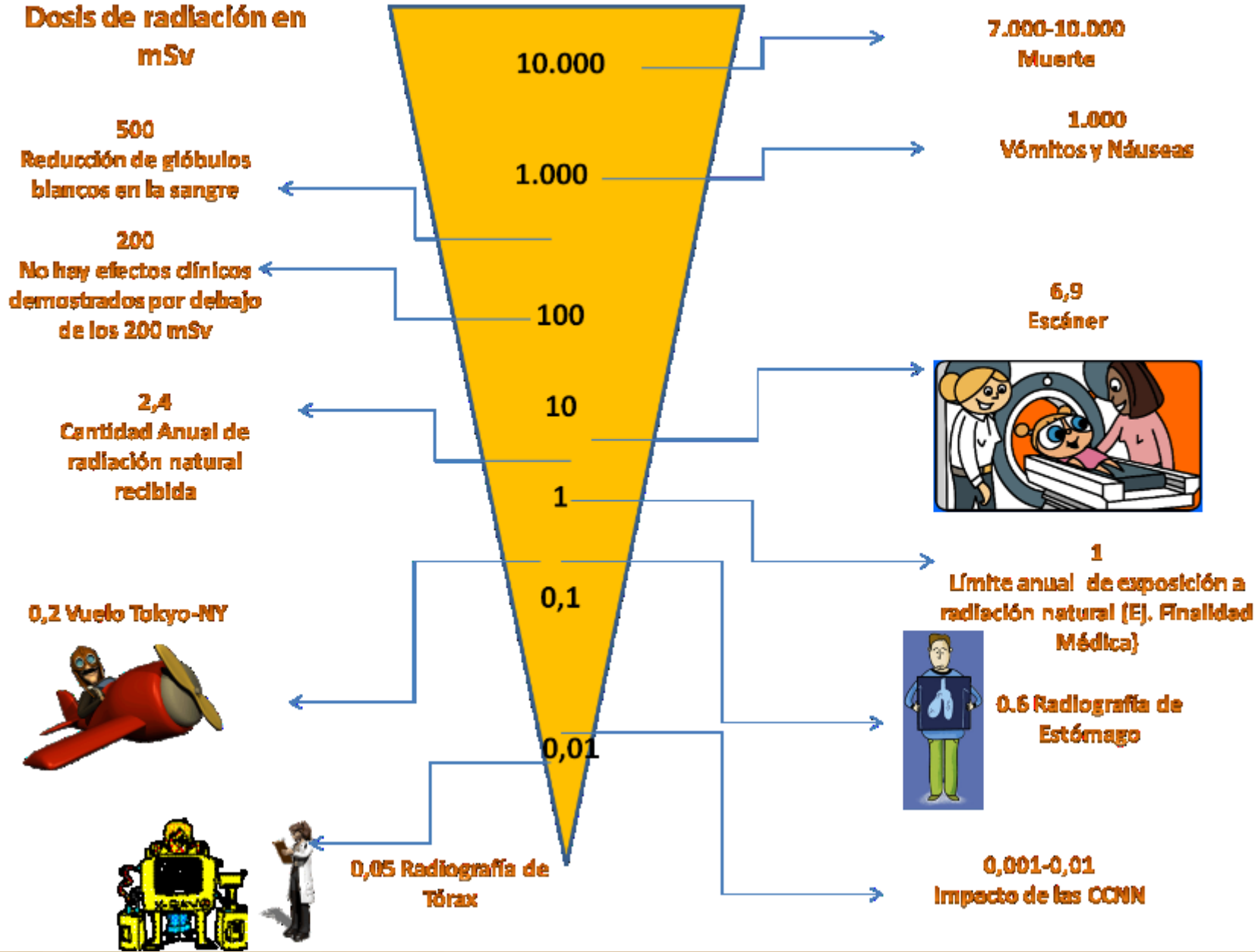
${}^{40}\text{K}$, ${}^{238}\text{U}$, ${}^{222}\text{Rn}$, ${}^{232}\text{Th}$)

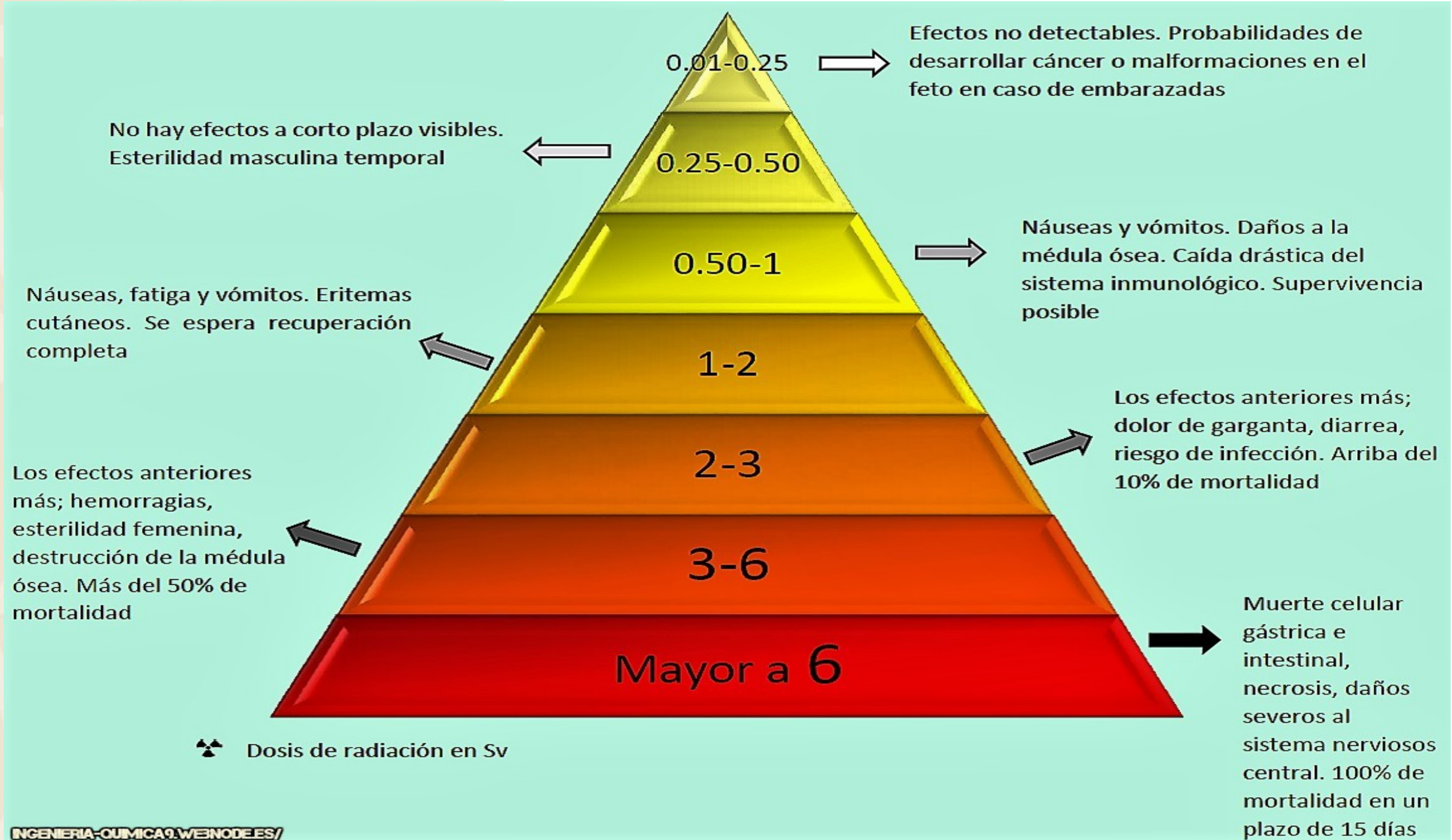
Artificiales

Isótopos radiactivos (${}^{60}\text{Co}$, ${}^{192}\text{Ir}$, ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$, ${}^{131}\text{I}$)

Dispositivos generadores de radiación ionizante (RX, aceleradores de electrones, protones o iones, generadores de neutrones)

Dosis de radiación en mSv





FUENTES NATURALES Y ARTIFICIALES DE RADIACIÓN



Riesgos asociados



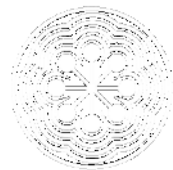
¿Preguntas?



TÍTULO DE CONTRAPORTADA



SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA



ININ
INSTITUTO NACIONAL
DE INVESTIGACIONES
NUCLEARES



2022 *Ricardo Flores*
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA