

Las Radiaciones ionizantes: Una realidad cotidiana



POLITÉCNICA



INDUSTRIALES
ETSII | UPM

Eduardo Gallego Díaz

Dpto. Ingeniería Nuclear
Esc. Téc. Sup. Ingenieros Industriales
Universidad Politécnica de Madrid

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



19ª Jornada Técnica de la
Sociedad Española de Sanidad Ambiental

Granada

Parque de las Ciencias. Salón de Actos
Jueves, 15 de abril de 2010

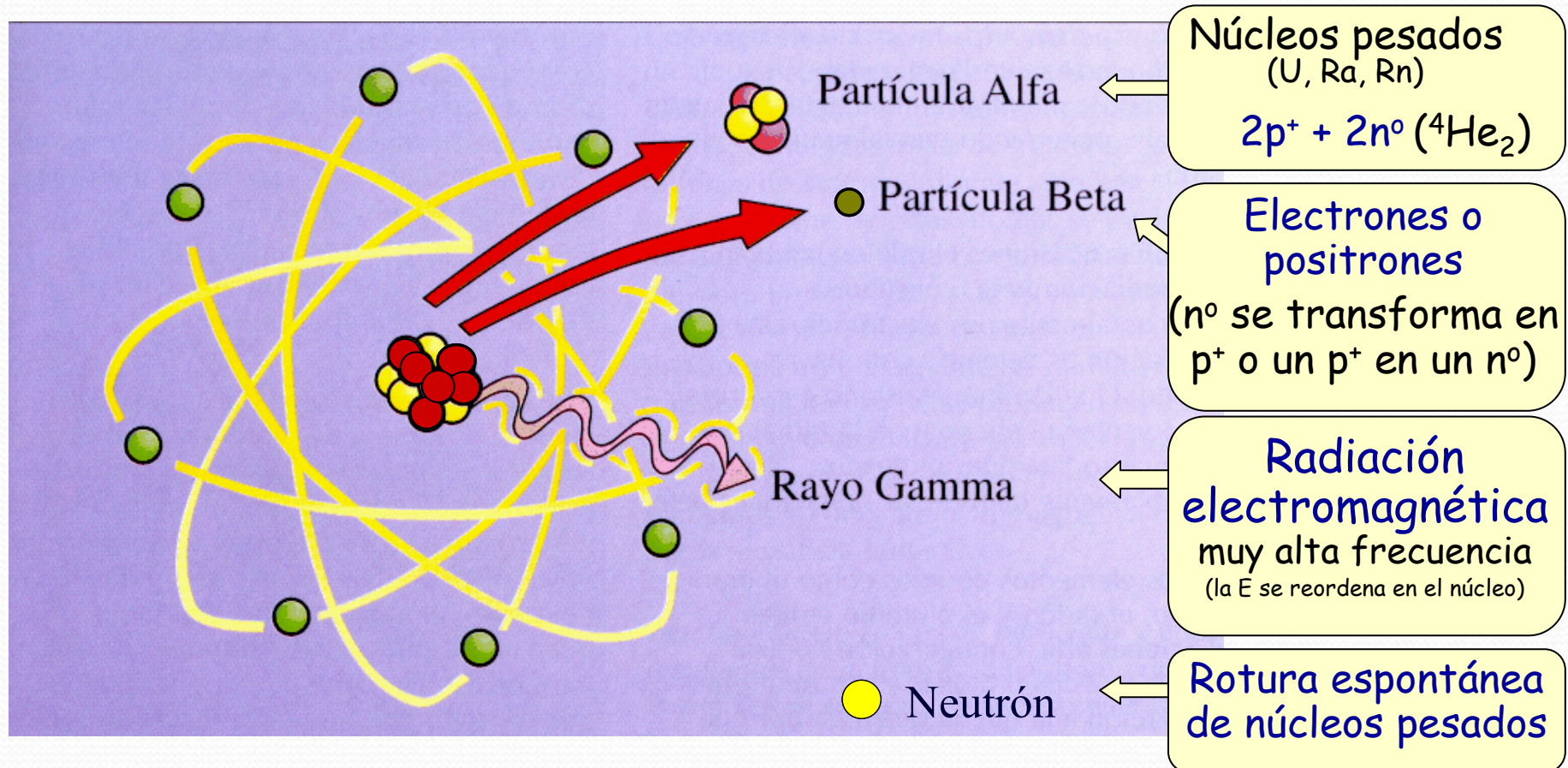
Radiaciones Ionizantes y Salud

Las radiaciones ionizantes

Conceptos básicos para su consideración

RADIATIVIDAD

Los núcleos inestables buscan estabilizarse emitiendo partículas y radiación electromagnética. El fenómeno se conoce como **radiactividad**



Rayos X: Radiación electromagnética de alta frecuencia (saltos de e^- entre distintos niveles de energía en la corteza atómica).

Tipos de radiaciones

- **α** : Dos neutrones y dos protones unidos (un núcleo de ${}^4\text{He}_2$). Generalmente en núcleos pesados.
- **β** : Electrones o positrones emitidos al producirse la transformación de un neutrón en un protón (se emite un e^-) o de un protón en un neutrón (se emite un e^+).
- **γ** : Radiación electromagnética de muy alta frecuencia emitida al producirse una reordenación de energía en el interior del núcleo atómico.
- **X**: Radiación electromagnética de alta frecuencia emitida al producirse saltos de electrones entre distintos niveles de energía en la corteza atómica. Se puede inducir al proyectar un haz de electrones rápidos sobre un blanco sólido denso.

DEFINICIÓN DE ACTIVIDAD

- La **actividad** de una sustancia radiactiva indica cuantos núcleos inestables se transforman por segundo y emiten radiaciones.
(guarda relación con la cantidad de átomos y la masa de la sustancia):

1 Becquerel (Bq) = 1 desintegración / seg



Marie Curie

El Bq es una **unidad extremadamente pequeña**

(K-40 en una persona de peso normal = 4.000-6.000 Bq)

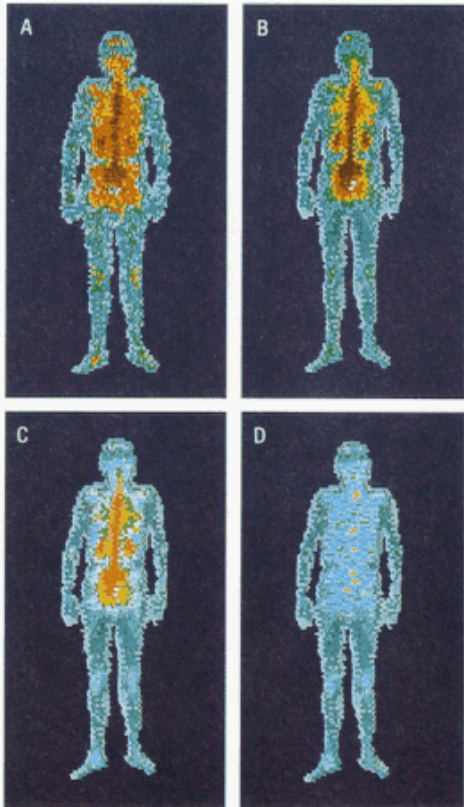


Henri Becquerel

1 Curie (Ci) = 37.000.000.000 Bq

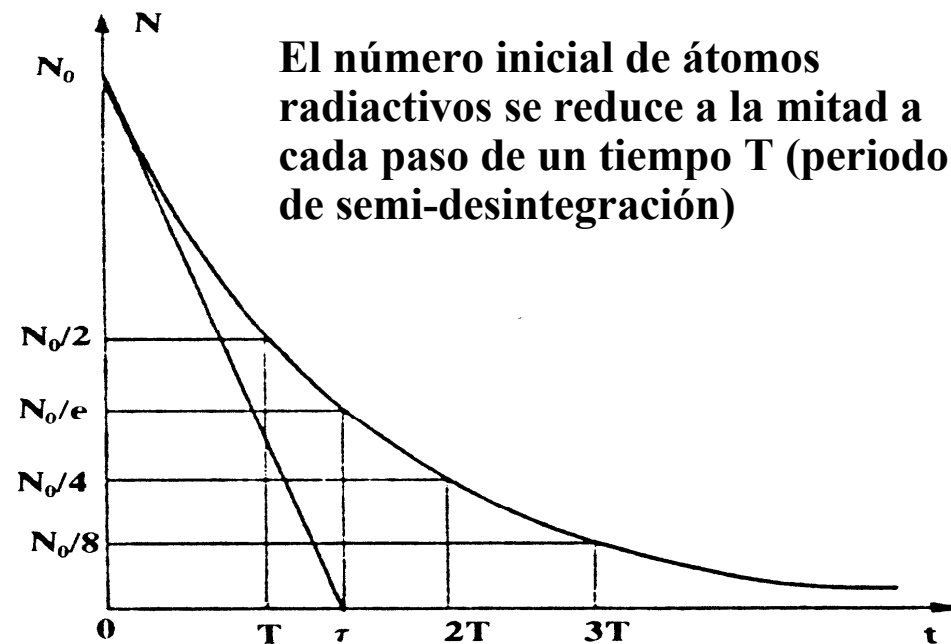
El Ci es una **unidad histórica**
(actividad de 1 g de Ra-226)

CON EL PASO DEL TIEMPO, LAS SUSTANCIAS RADIOACTIVAS SE TRANSFORMAN EN ESTABLES

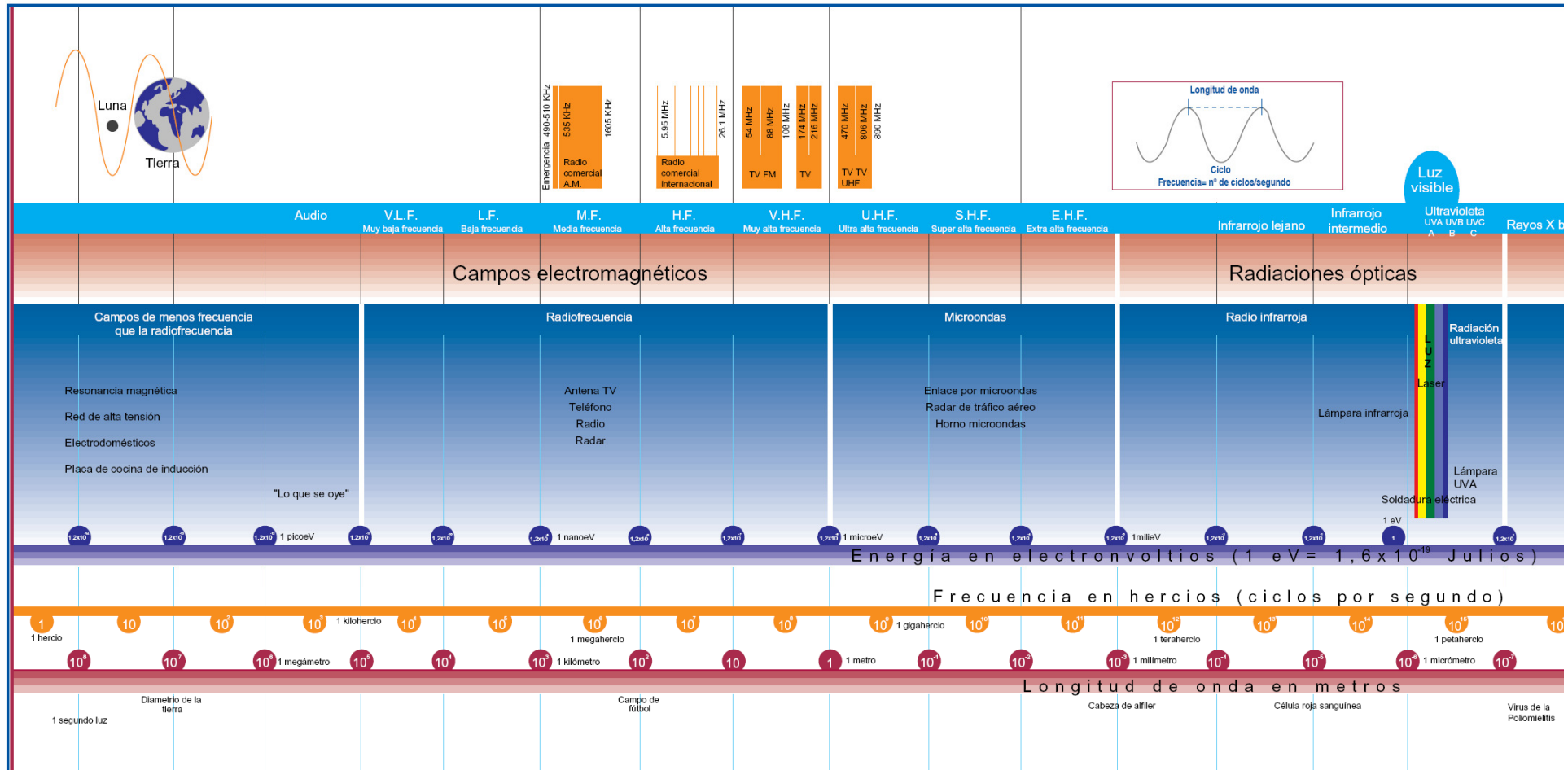


Exploración ósea con Tc-99m.
Cada 6h su cantidad en el
cuerpo se reduce a la mitad

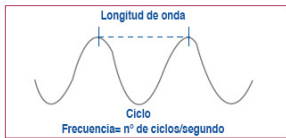
CADA ISÓTOPO RADIOACTIVO SE
CARACTERIZA POR SU **PERIODO
SEMI-DESINTEGRACIÓN**



Las radiaciones ionizantes dentro del espectro electromagnético



Las radiaciones ionizantes dentro del espectro electromagnético



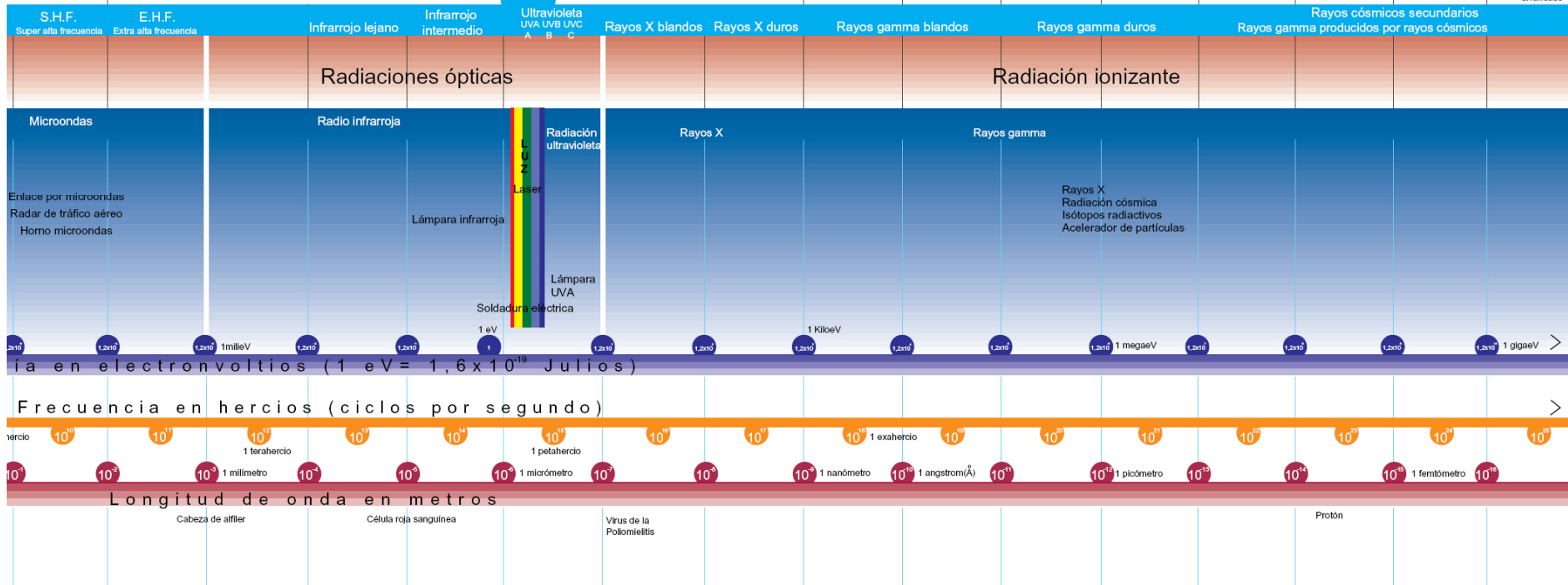
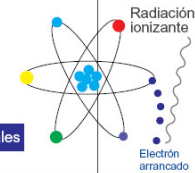
Luz visible

Energía	Masa	Elemento
1,6 KeV		Electronio Sr-90
9,99 KeV		Oro Au-198
100 KeV		Tanio TH-232
140 KeV		Tecnecio Tc-99
364 KeV		Yodo I-131
661 KeV		Bario Ba-137m
1,1 MeV		Kriptón Kr-81
1,33 MeV		Cobalto Co-60
2,75 MeV		Sodio Na-24
3,01 MeV		Cesio Cs-137
6,21 MeV		Nitrógeno N-16

Emisión de rayos X y rayos gamma por isótopos radiactivos

Energía	Masa	Elemento
68 MeV		Mesón
77 MeV		Hiperión
938 MeV		Protón
938 MeV		Neutrón

Emisión por partículas elementales



Interacción y Efectos de la Radiación



Ionización

El principal efecto producido por las radiaciones es la ionización de la materia:

RADIACIONES IONIZANTES

Directamente ionizantes: partículas cargadas (α , β y electrones acelerados).

Indirectamente ionizantes: fotones X y γ , neutrones.



Alteración del ADN y cambios químicos provocan daños en las células



Detección de la Radiación Ionizante: DOSIMETRÍA

- ▶ Los sentidos del ser humano **no pueden** "detectar" la radiación. Pero gracias a sus efectos se dispone de instrumentos muy eficaces

Cámara de ionización



Detector Geiger



Dosímetros de neutrones



Monitor de contaminación



Dosímetros termoluminiscentes

DOSIS DE RADIACIÓN

- ▶ Magnitudes del Sistema Internacional de Unidades empleadas para cuantificar los efectos asociados a la radiación ionizante:
- ▶ **Dosis absorbida:** Energía impartida en la materia por unidad de masa.
Julio/kilogramo; **Gray (Gy)**
- ▶ **Dosis equivalente:** Dosis absorbida ponderada por un factor dependiente del tipo de radiación (no todos los tipos de radiación producen el mismo daño biológico).
 $w_R \cdot \text{Julio/kilogramo}$; **Sievert (Sv)**
- ▶ **Dosis efectiva:** Dosis equivalente ponderada por un factor de ponderación de tejido (no todos los tejidos tienen la misma probabilidad de desarrollar un efecto grave).
 $w_T \cdot w_R \cdot \text{Julio/kilogramo}$; **Sievert (Sv) = 1000 miliSievert (mSv)**

Es la magnitud empleada para establecer límites

Comité Científico de Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiaciones Atómicas.

UNSCEAR

- Es un Comité Científico de la Asamblea General de la ONU establecido en 1955.



- Tiene el mandato de la ONU para estimar niveles y de efectos de la exposición a radiaciones ionizantes.
- Cada año informa a la Asamblea General sobre las fuentes y efectos de la radiación ionizante. Cada cierto periodo de tiempo publica evaluaciones, incluyendo anexos técnicos (www.unscear.org)
- Se basa en los resultados obtenidos en los diversos países.
- Las estimaciones constituyen la base científica de las normas de protección radiológica.

Revisión 2008 del impacto radiológico

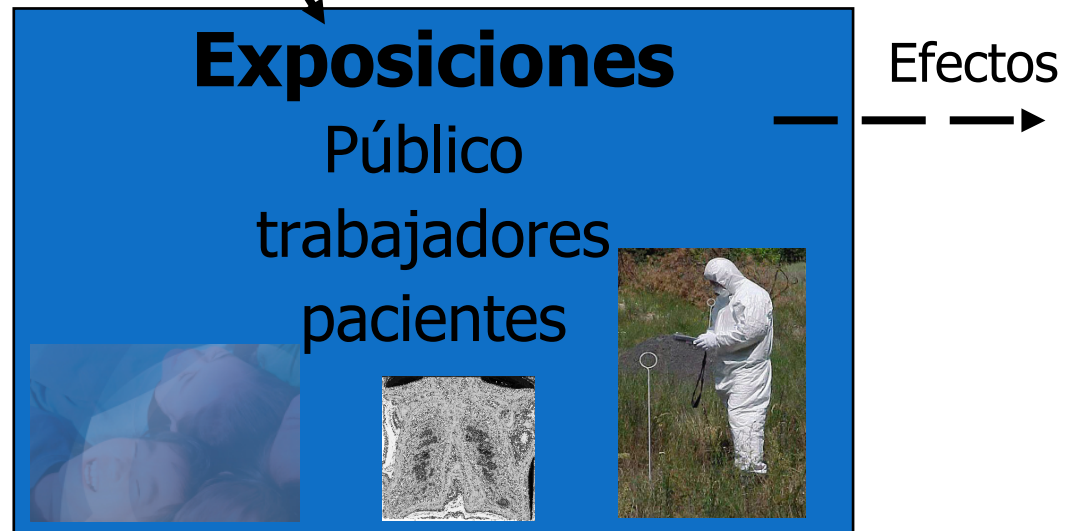
Fuentes
naturales
Producidas por el hombre



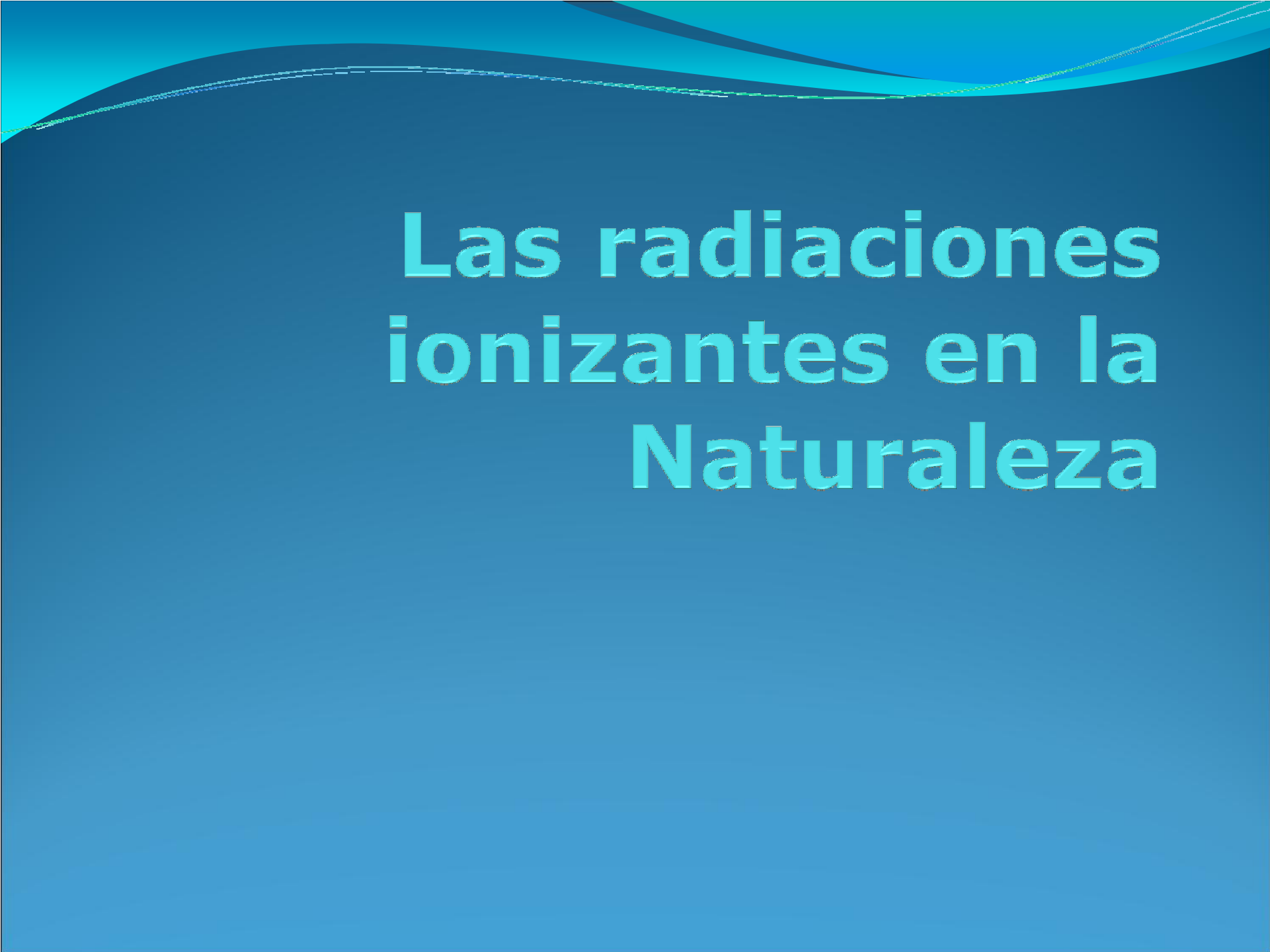
The diagram shows a central red nucleus with three elliptical orbits in yellow, cyan, and magenta. Below the text are three images: a bright sun, a nuclear mushroom cloud, and a nuclear power plant.

Exposiciones
Público
trabajadores
pacientes

Efectos →



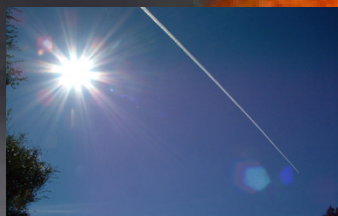
The diagram shows three categories of exposure: Público, trabajadores, and pacientes. Below the text are three images: a group of people, a chest X-ray, and a person in a white protective suit. An arrow labeled 'Efectos' points to the right.



Las radiaciones ionizantes en la Naturaleza

Fuentes naturales

Rayos C3smicos



Fuentes Terrestres

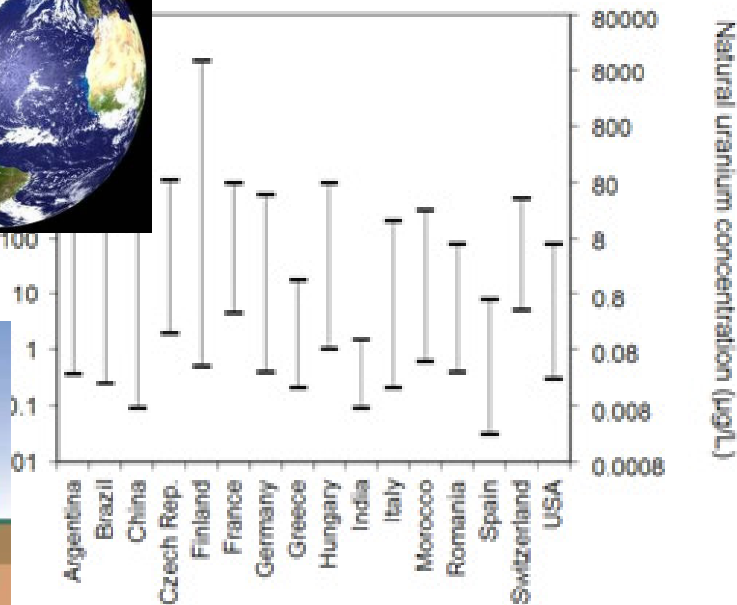
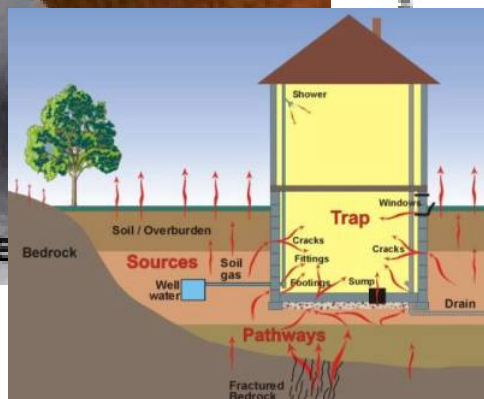
Radionucleidos primordiales

- Uranio-238 (4.500 millones de a1os)
- Potasio-40 (1.300 millones de a1os)
- Torio-232 (14.000 millones de a1os)

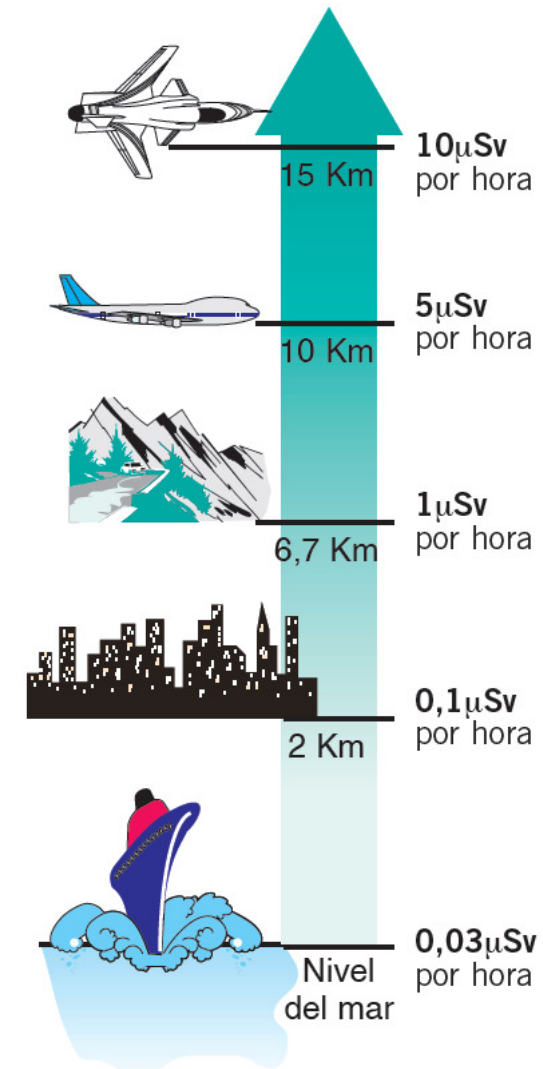


Exposiciones

- Externa
- Inhalaci3n (radon)
- Ingesti3n

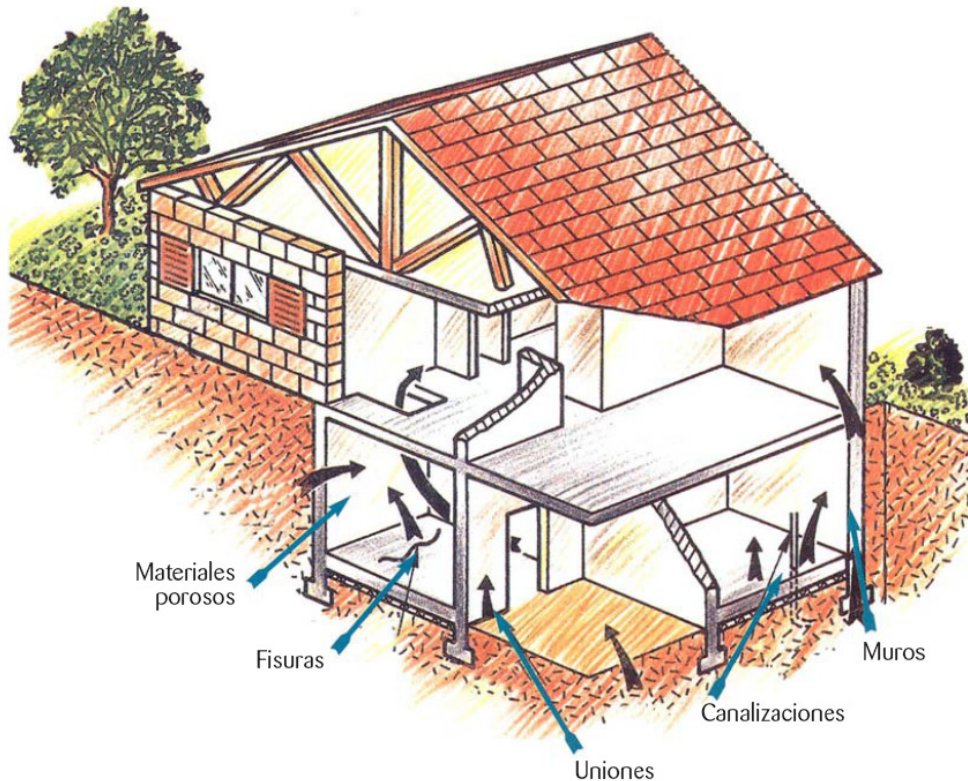


Fuentes Naturales: RADIACIÓN CÓSMICA



La radiación cósmica procede del Sol y las estrellas. Varía con la altitud y la latitud

Fuentes Naturales: EL URANIO Y EL GAS RADÓN

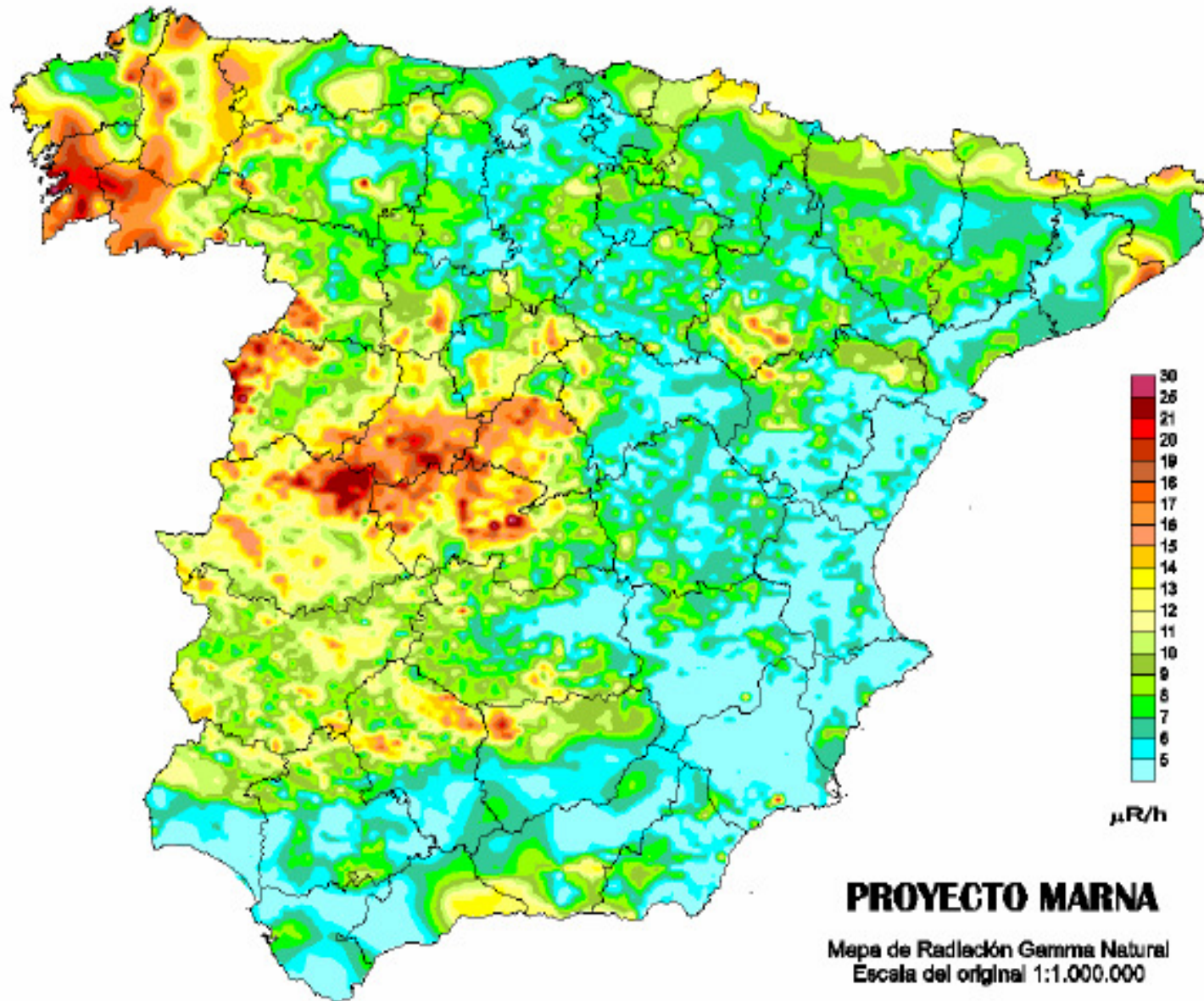


El radón penetra en las casas por distintas vías

Cadena de transformación del Uranio

α	●	Uranio-238	4,47 miles de millones años
β	●	Torio-234	24,1 días
β	●	Protactinio-234	1,17 minutos
α	●	Uranio-234	245.000 años
α	●	Torio-230	234.000 años
α	●	Radio-226	1.600 años
α	●	Radón-222	3,823 días
α	●	Polonio-218	3,05 minutos
β	●	Plomo-214	26,8 minutos
β	●	Bismuto-214	19,7 minutos
α	●	Polonio-214	0,000164 segundos
β	●	Plomo-210	22,3 años
β	●	Bismuto-210	5,01 días
α	●	Polonio-210	138,4 días
	●	Plomo-206	Estable

Variabilidad de la radiación natural de fondo en España (Proyecto MARNA del CSN)



FUENTES NATURALES DE RADIACION

Evaluación de UNSCEAR 2008 (semejante a la de 2000)

DOSIS MEDIAS MUNDIALES

<i>Fuente</i>	<i>Dosis Efectiva (mSv por año)</i>	<i>Rango Típico (mSv por año)</i>
Exposición externa		
Rayos Cósmicos	0.4	0.3-1.0
Rayos gamma terrestres	0.5	0.3-0.6
Exposición interna		
Inhalación	1.2	0.2-10
Ingestión	0.3	0.2-0.8
Total	2.4	1-10

Dosis debida al fondo natural



Aplicaciones de las radiaciones ionizantes

Las aplicaciones de la radiactividad y las radiaciones ionizantes se basan en sus propiedades y en los efectos que causan sobre la materia. Así:

- Los rayos X permiten la visión de las estructuras internas del cuerpo humano y de cualquier pieza o material
- Los rayos X combinados con los ordenadores permiten obtener imágenes 3-D de las estructuras internas
- La difracción de rayos X y otras radiaciones permite determinar la estructura de cristales y moléculas, incluyendo la del ADN
- Los isótopos radiactivos aplicados a la medicina permiten estudiar las funciones de los órganos "in vivo"
- La emisión de radiaciones características permite emplear los radionucleidos como trazadores en múltiples campos (biológico, sanitario, medioambiental, industrial, ...)

(cont.)

- Los daños que causa en tejidos vivos la radiación ionizante pueden causar enfermedades, pero también permiten destruir tejidos enfermos
- La capacidad de la radiación ionizante para esterilizar permite evitar enfermedades en numerosos campos (sanitario, agropecuario, alimentario)
- La capacidad de la radiación ionizante para alterar los materiales permite obtener compuestos avanzados para diferentes aplicaciones
- La desintegración y decaimiento radiactivo permiten la datación de minerales y restos arqueológicos.
- Las reacciones nucleares activan átomos y permiten análisis de gran sensibilidad incluso en muestras microscópicas
- La energía nuclear permite cubrir una parte importante de las necesidades mundiales sin agotar recursos fósiles no renovables y sin emitir gases causantes del efecto invernadero

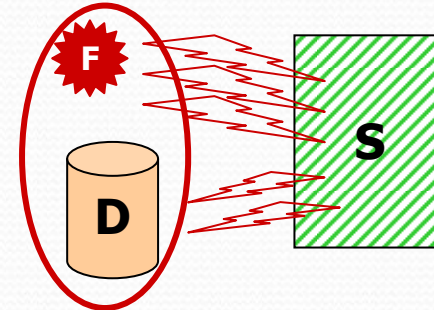
Aplicaciones de las Radiaciones Ionizantes. Clasificación

- Elementos:
 - Fuente (**F**)
 - Sistema material en estudio (**S**)
 - Detector (**D**)
- Tipos de aplicaciones:

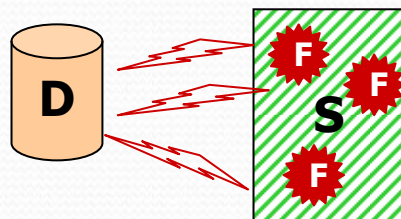
Transmisión: **F//S//D**



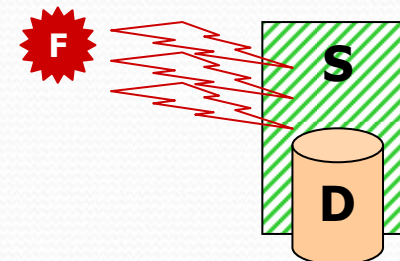
Reflexión: **(F//D)//S**



Trazadores: **D//(S,F)**

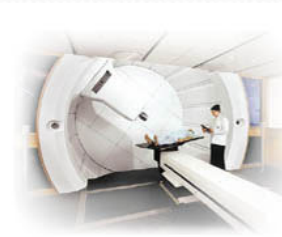


Irradiación: **F//(S//D)**



Producción de radiaciones

Aparatos generadores de rayos X

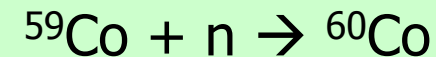


Aceleradores de partículas: LINAC, Ciclotrón, acelerador de protones

Producción de radisótopos

Reactores experimentales y para producción de isótopos (Ejemplo: reactor tipo TRIGA)

Reacciones de activación por captura neutrónica:



Productos de fisión y transuránicos → extraídos mediante reelaboración del combustible

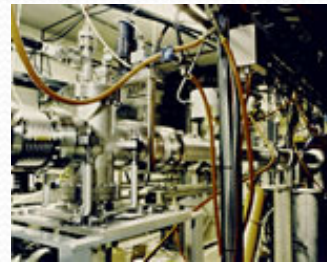


^3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{35}S , ^{51}Cr ,
 ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{64}Cu , ^{85}Kr ,
 ^{89}Sr , ^{90}Y , ^{99}Mo , ^{125}I , ^{131}I ,
 ^{133}Xe , ^{137}Cs , ^{153}Sm ,
 ^{186}Re , ^{192}Ir , ^{198}Au , ^{201}Tl ,
 ^{241}Am , ^{252}Cf

Producción de radisótopos

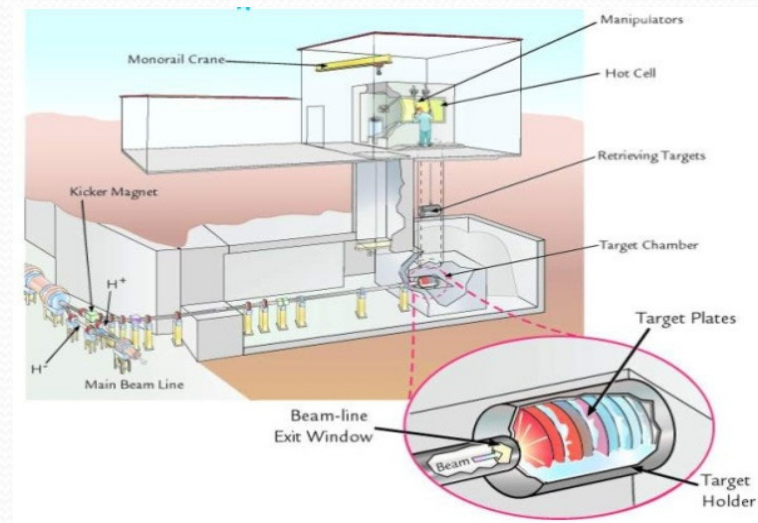
Aceleradores, principalmente de electrones y de protones.

^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F , ^{22}Na , ^{57}Co , ^{67}Ga ,
 ^{81}Rb , ^{103}Pb , ^{111}In , ^{123}I , ^{201}Tl , ...



Ejemplo: Los Álamos

Isotope	Target Material	Half life	TTY ($\mu\text{Ci}/\mu\text{Ah}$)	Production Quantities	Energy Slot Occupation (%)		
					90-70 MeV	65-45 MeV	30-10 MeV
Sr-82	RbCl	25.5 d	230, 130	2.5 Ci every 4 weeks	7.1%	14.3%	-
Ge-68	Ga	270 d	32	1.8 Ci every 4 weeks	-	-	84.7%
Cu-67	Zn	2.6 d	115	0.5 Ci every 2 weeks	-	14.3%	-
Re-186	W-186	3.2 d	50	0.25 Ci every 2 weeks	-	-	14.3%
V-48	Cr	16 d	1100	6 Ci every 4 weeks	7.1%	-	-
Zr-88	Nb	80.3 d	171	2.7 Ci every 4 weeks	14.3%	-	-
Na-22	Mg	83.4 d	235	1.4 Ci every 4 weeks	-	71.4%	-
As-73	Ge	2.7 y	24	1 Ci per year	-	-	1%
Si-32	NaCl	172 y	0.0003	160 μCi per year	71.4%	-	-
					100%	100%	100%



Aplicaciones de las radiaciones ionizantes según sectores

Medicina

Industria

Minería

Medio Ambiente

Agricultura-alimentación

Investigación

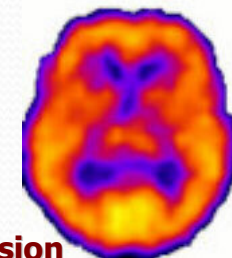
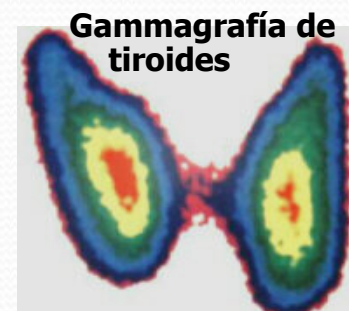
Exploración espacial

Producción de energía

Aplicaciones médicas. Medicina nuclear

- Estudios "in vivo": **Gammagrafía**
- Características físicas deseables en los radionucleidos que se utilizan para la formación de imagen en MN
 - Que emitan radiación que atraviese con facilidad los tejidos del cuerpo humano.
 - Que sea detectada con eficiencia por los dispositivos que formarán la imagen: radiación de fotones en el rango de los 100-500 keV.
 - Que tengan un periodo adecuado al tiempo de duración de la exploración (algunas horas).
 - El isótopo más utilizado es el ^{99}Tc aunque también se utiliza ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{131}I , ^{125}I , ^{123}I , ^{111}In , etc.
 - Estas sustancias se administran vía parenteral o endovenosa.

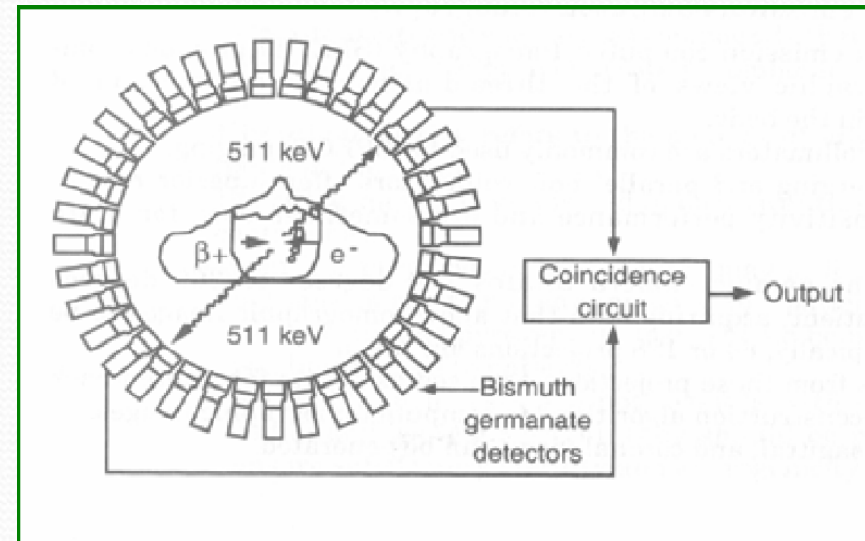
Gammacámara



SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography)

Aplicaciones médicas. Medicina nuclear

- Estudios "in vivo":
Tomografía por Emisión de Positrones (**PET**)
- Se utilizan nucleidos emisores de positrones (^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F) ligados a compuestos metabolizables, que se acumularán especialmente en ciertos órganos (ej: fluorodeoxiglucosa, FDG)
- Los fotones de 511 keV emitidos en la aniquilación de los positrones, son detectados y permiten ubicar espacialmente los metabolitos, estudiando la función de los órganos o el tumor
- Esos radionucleidos son de vida corta o muy corta y han de producirse en aceleradores cercanos a la instalación (ciclotrones aceleradores de p)
(Ej: $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$ ($T_{1/2} = 110$ min))



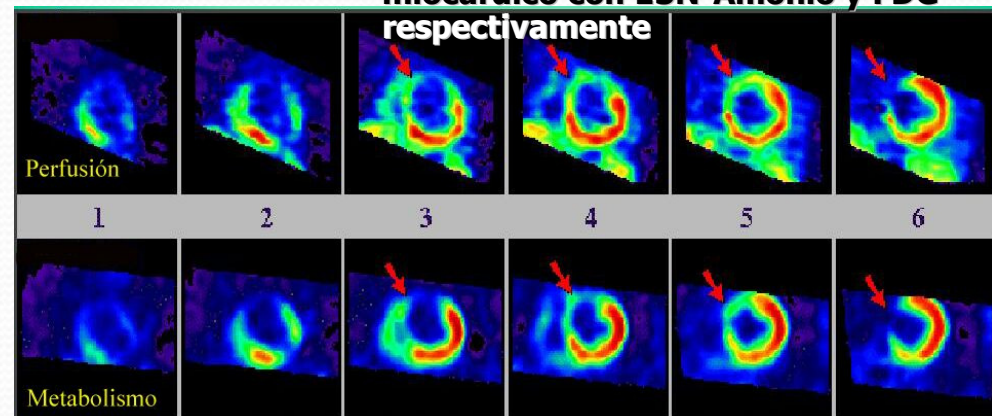
Aplicaciones médicas. Medicina nuclear

Estudios "in vivo" mediante PET

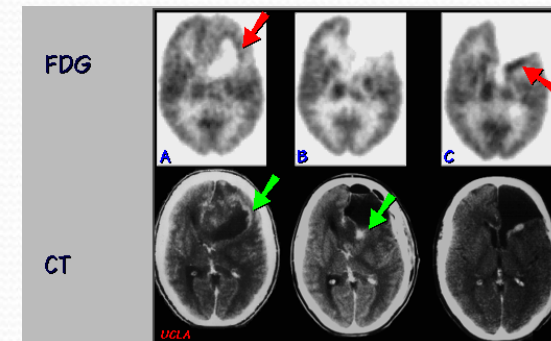
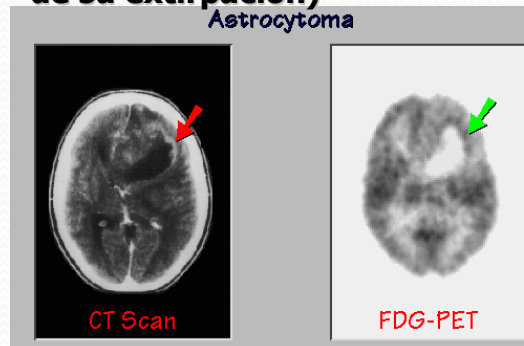


**Melanoma metastásico
diseminado**

**Estudio de perfusión y metabolismo
miocárdico con ^{13}N -Amonio y FDG
respectivamente**



**Tumor cerebral estudiado mediante TAC y PET (antes y después
de su extirpación)**



Aplicaciones médicas. Medicina nuclear

- Estudios "in vitro".
Radioinmunoanálisis (**RIA**).
- Permite análisis tanto cualitativos como cuantitativos, así como la detección en sangre de hormonas peptídicas, esteroideas, drogas, antígenos tumorales, etc. en cantidades muy pequeñas (10 a 100 millones más sensible que otros métodos).
- Se manejan emisores beta y gamma de baja y media energía, fundamentalmente ^{125}I , ^3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{57}Co , etc. y cuando se trata de trabajos de investigación, la diversidad de isótopos es mucho mayor.
- A diferencia de los usados en las técnicas de diagnóstico "in vitro", su periodo de semidesintegración es más largo (días e incluso años).
- Aplicación en endocrinología, hematología, oncología, virología, toxicología, farmacología, alergología, etc.



Lector de RIA equipado con 5 detectores de centelleo de INa(Tl). Gran capacidad de muestras (hasta 300 viales convencionales de 10 x 50 mm). Rango de Energía de 15 a 2000 KeV con preselección para ^{125}I , ^{57}Co y ^{51}Cr . Eficacia > 74% para ^{125}I .
(Univ. de León)

Relación de isótopos más empleados en medicina nuclear

Isótopo	Símbolo	Período 1/2	Em.	Usos
Tecnecio-99	⁹⁹ Tc	6 horas	γ	Como radionucleido: Gammagrafía tiroidea, estudios cerebrales. Como radiofármaco: Estudios de hígado y bazo. Detección de hemorragias digestivas. Estudios óseos, cardíacos, pulmonares, renales y de vasos linfáticos.
Talio-201	²⁰¹ Tl	3 días	γ	Estudios cardíacos para detección de angina e infarto de miocardio.
Yodo-131	¹³¹ I	8 días	$\beta-\gamma$	Diagnóstico y tratamiento tiroideo, estudios renales, marcaje de anticuerpos.
Yodo-125	¹²⁵ I	59 días	$\beta-\gamma$	Técnicas analíticas de radioinmunoanálisis.
Indio-111	¹¹¹ In	28 días	γ	Marcaje de células sanguíneas. Detección de inflamaciones.
Galio-67	⁶⁷ Ga	3,3 días	γ	Detección de tumores y procesos inflamatorios crónicos.
Cromo-51	⁵¹ Cr	28 días	γ	Marcaje de células sanguíneas, estudios hematológicos.
Cobalto-57	⁵⁷ Co	270 días	γ	Estudios de absorción de vitamina B-12.
Cobalto-58	⁵⁸ Co	71 días	γ	Estudios de absorción de vitamina B-112.
Hierro-59	⁵⁹ Fe	45 días	γ	Estudio de metabolismo del hierro.
Itrio-90	⁹⁰ Y	2,7 días	β	Tratamiento de procesos articulares.
Molibdeno-99	⁹⁹ Mb	66 horas	$\beta-\gamma$	Generador de Tecnecio.
Fósforo-32	³² P	14 días	β	Tratamiento de procesos hematológicos.

Aplicaciones terapéuticas de la medicina nuclear

- Radioterapia metabólica, mediante la inyección o ingestión de radiofármacos que actúen sobre el órgano diana:
 - Terapia paliativa del dolor óseo por metástasis (cáncer de Próstata y mama) con ^{153}Sm
 - Terapia con ^{131}I (cáncer tiroideo, hipertiroidismo)
 - Terapia de metástasis de neuroblastoma con ^{131}I
 - Radiosinovectomía en tratamiento de artritis reumatoide y otras (^{153}Sm ; ^{166}Ho ; ^{90}Y ; ^{186}Re)

Aplicaciones médicas.

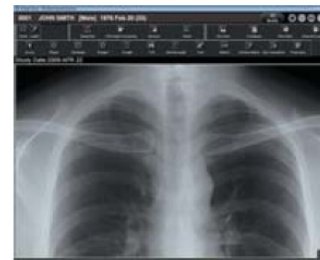
Radiodiagnóstico



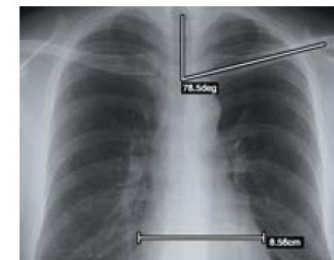
- Desde su descubrimiento por Röntgen en 1895, los rayos X no han cesado de aplicarse en diagnóstico.
- Las técnicas digitales modernas permiten obtener imágenes de gran calidad con dosis de radiación muy inferiores.



Various diagnostic functions



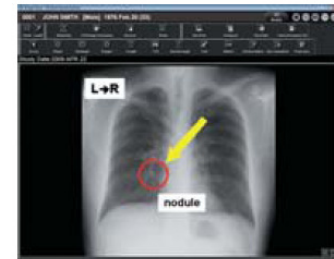
A magnified image



Measurement function



Comparing archived images



An annotated image

Aplicaciones médicas. Radiodiagnóstico

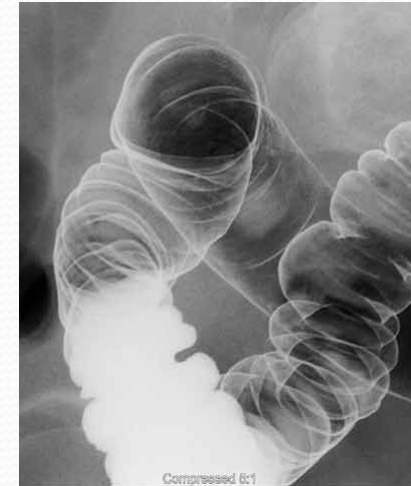
■ **Ventajas de la radiología digital:**

- Las imágenes se obtienen con más facilidad y rapidez.
- Las imágenes se pueden procesar numéricamente.
- Se pueden transmitir por la red.
- Se pueden almacenar en formato electrónico.
- Se pueden "recuperar" con relativa rapidez.
- Se puede obtener más información diagnóstica.
- Se pueden disminuir las dosis de radiación (trabajando con procedimientos de calidad).



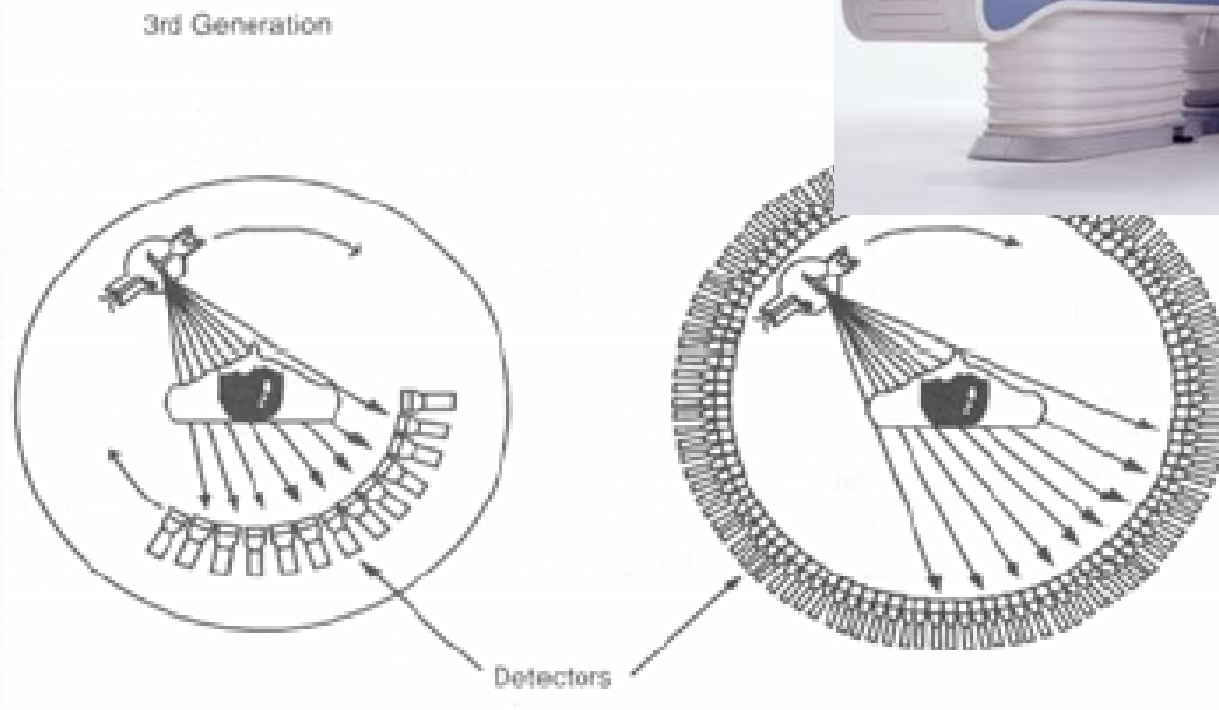
Aplicaciones médicas. Radiodiagnóstico

- La incorporación de sustancias de contraste permite obtener imágenes detalladas de tejidos blandos.
- Ej: Estudio de colon mediante contraste con enema de bario.



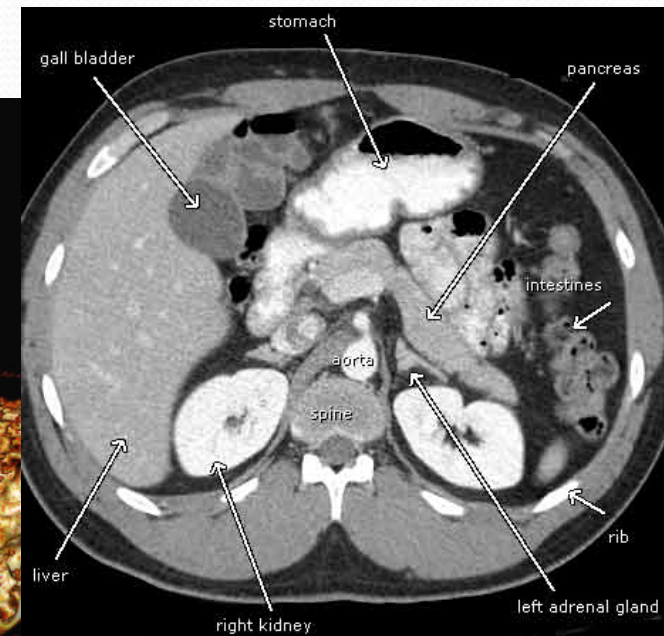
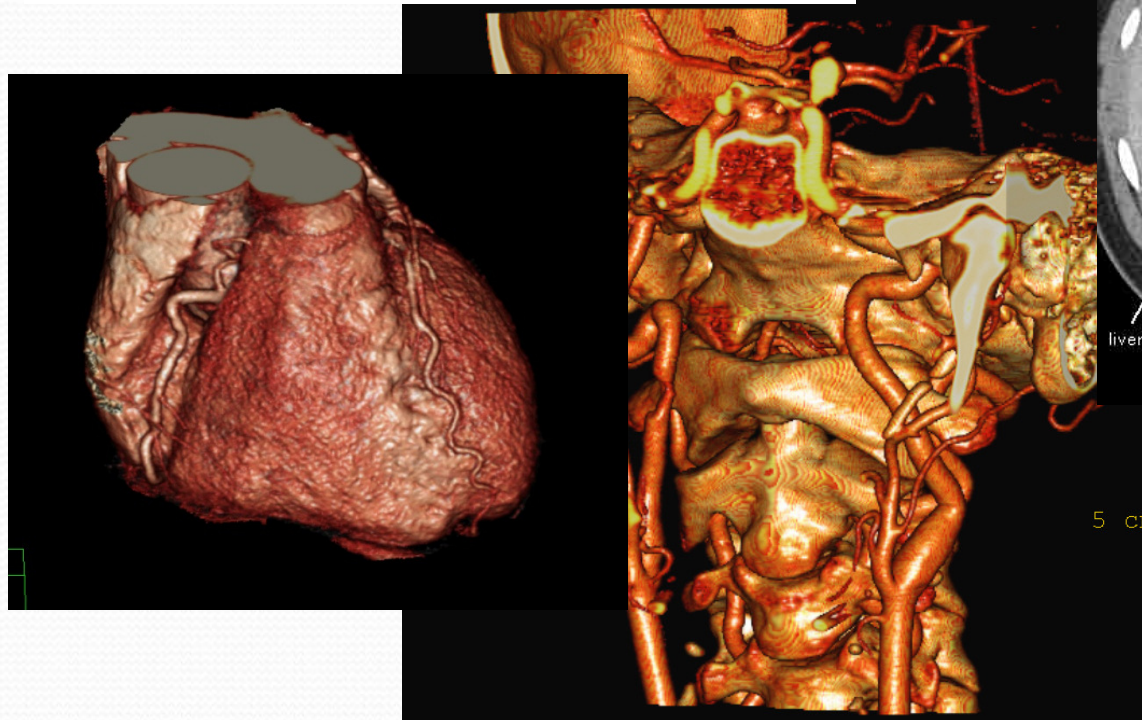
Aplicaciones médicas. Radiodiagnóstico

- **Tomografía computarizada mediante rayos X**

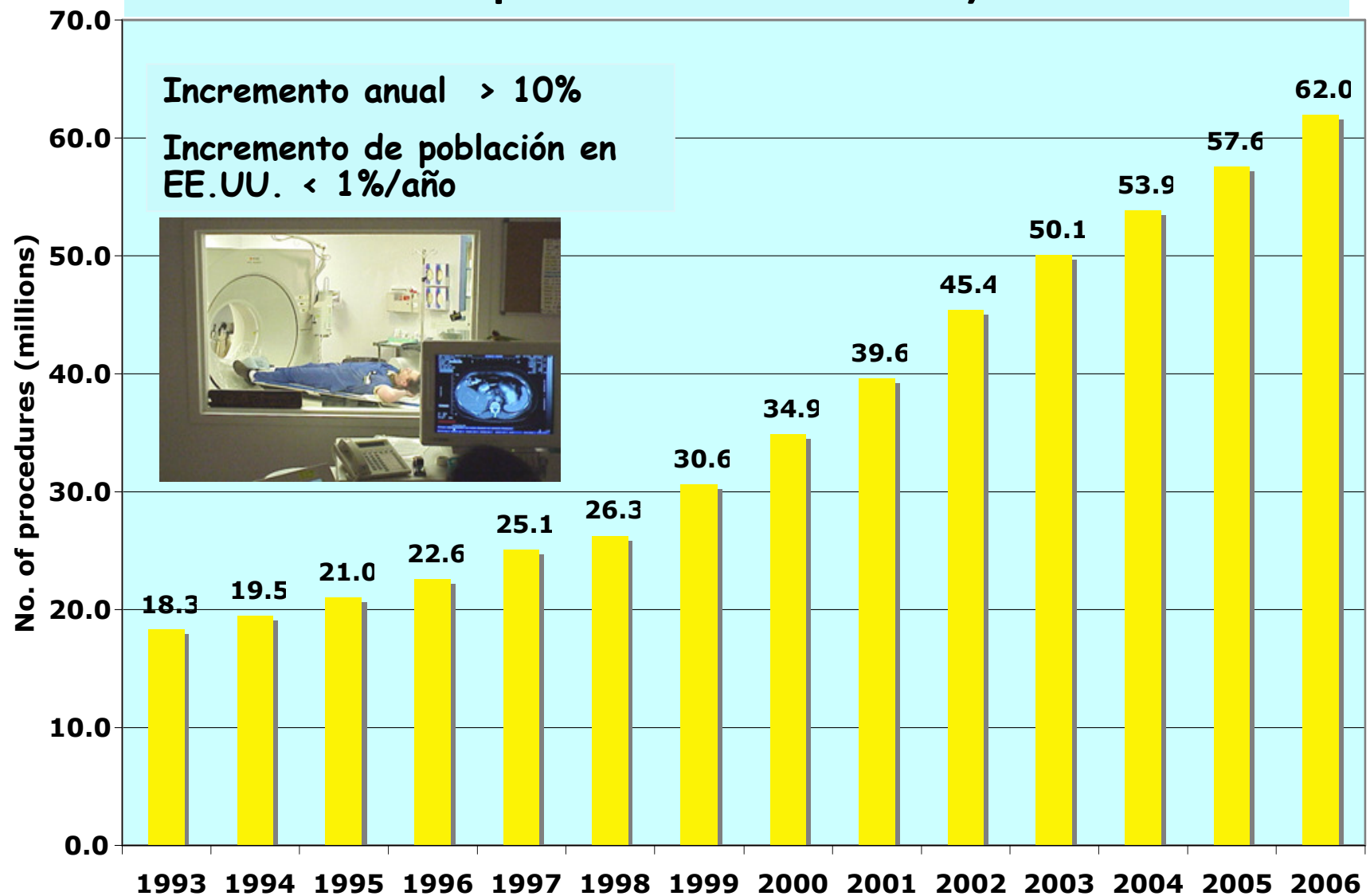


Aplicaciones médicas. Radiodiagnóstico

- **Tomografía computarizada mediante rayos X (secciones e imágenes 3D)**



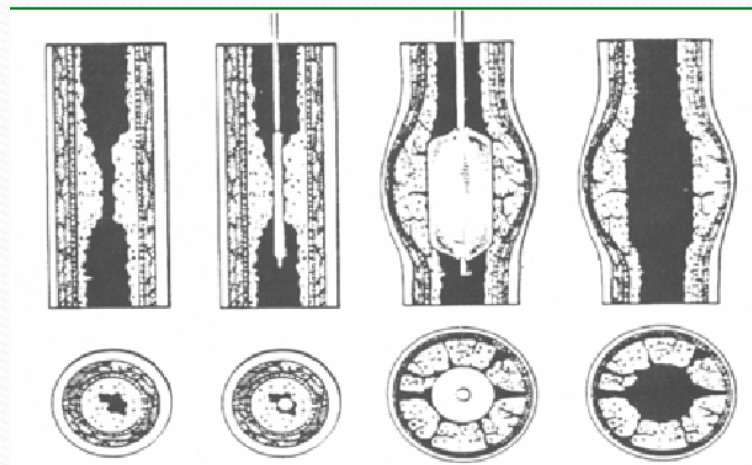
Tomografía Computarizada (TC) en EEUU (millones de procedimientos al año)



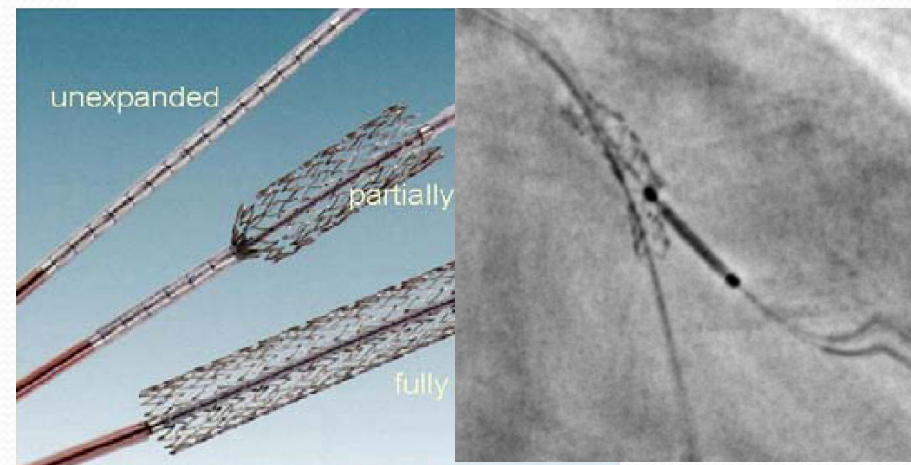
Aplicaciones médicas.

Radiología Intervencionista

- **Permite el diagnóstico y el tratamiento de determinadas enfermedades, mediante intervenciones mínimamente invasivas.**
- **La intervención se guía gracias a los equipos de rayos X.**



Forma de actuación de un globo de dilatación arterial



Extensor arterial y su imagen durante una intervención

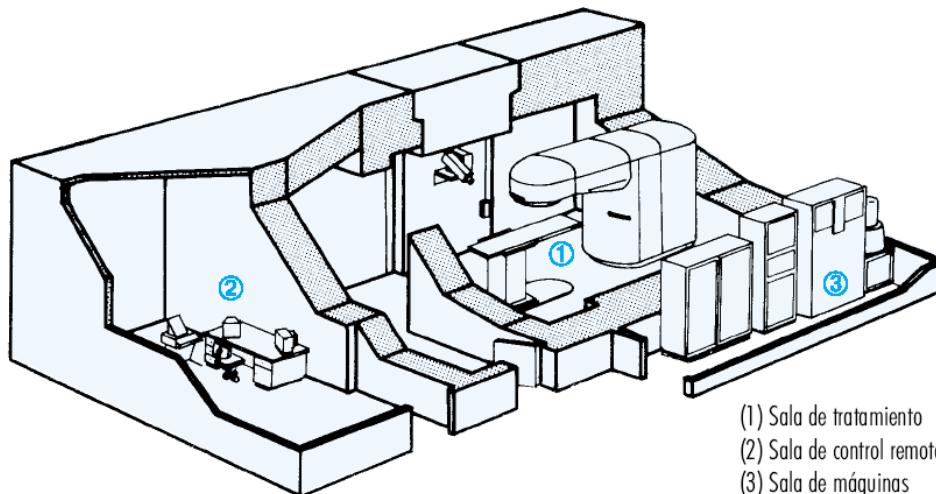
Aplicaciones médicas. Radioterapia

- Las radiaciones ionizantes se utilizan en radioterapia para tratar tanto procesos benignos como malignos.
- Se utilizan tanto radiaciones electromagnéticas como corpusculares (sobre todo electrones; se está introduciendo el uso de iones acelerados como protones o iones C).
- Las instalaciones de radioterapia utilizan fuentes radiactivas o aceleradores de partículas para irradiar los llamados volúmenes “blanco”.
- En ocasiones, la radioterapia se hace con fuentes radiactivas no encapsuladas (radioterapia metabólica).
- El gran reto consiste en administrar la dosis suficiente al tumor maligno para destruirlo (una dosis menor supone en general un tratamiento inadecuado) con dosis de radiación lo más pequeñas posible a los tejidos sanos en sus proximidades y protegiendo especialmente los órganos críticos más radiosensibles que si se irradian podrían causar efectos especialmente nocivos en el paciente.
- Los exámenes previos por distintas técnicas ayudan a caracterizar la zona del tumor. Los equipos disponen de colimadores y se aplican blindajes a los órganos sanos.

Aplicaciones médicas.

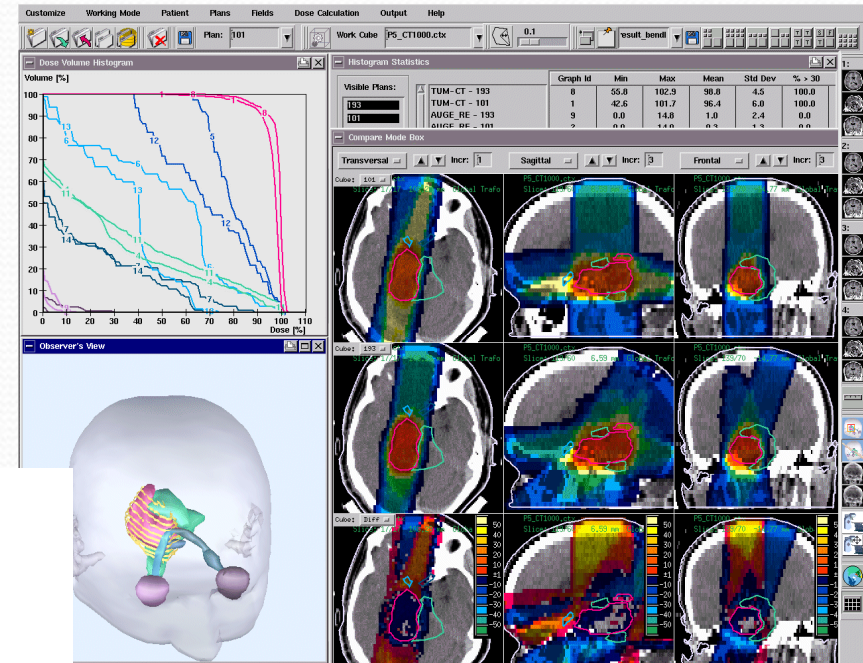
Radioterapia

Acelerador lineal de electrones para radioterapia y planificación del tratamiento mediante simulación numérica



- (1) Sala de tratamiento
- (2) Sala de control remoto
- (3) Sala de máquinas

Figura 4.2. Vista general de una instalación con un Acelerador Lineal.



Aplicaciones médicas.

Radioterapia

Gamma-knife para tratamiento radioquirúrgico de tumores cerebrales: se basa en concentrar con precisión 201 micro-haces de ^{60}Co en la zona a tratar

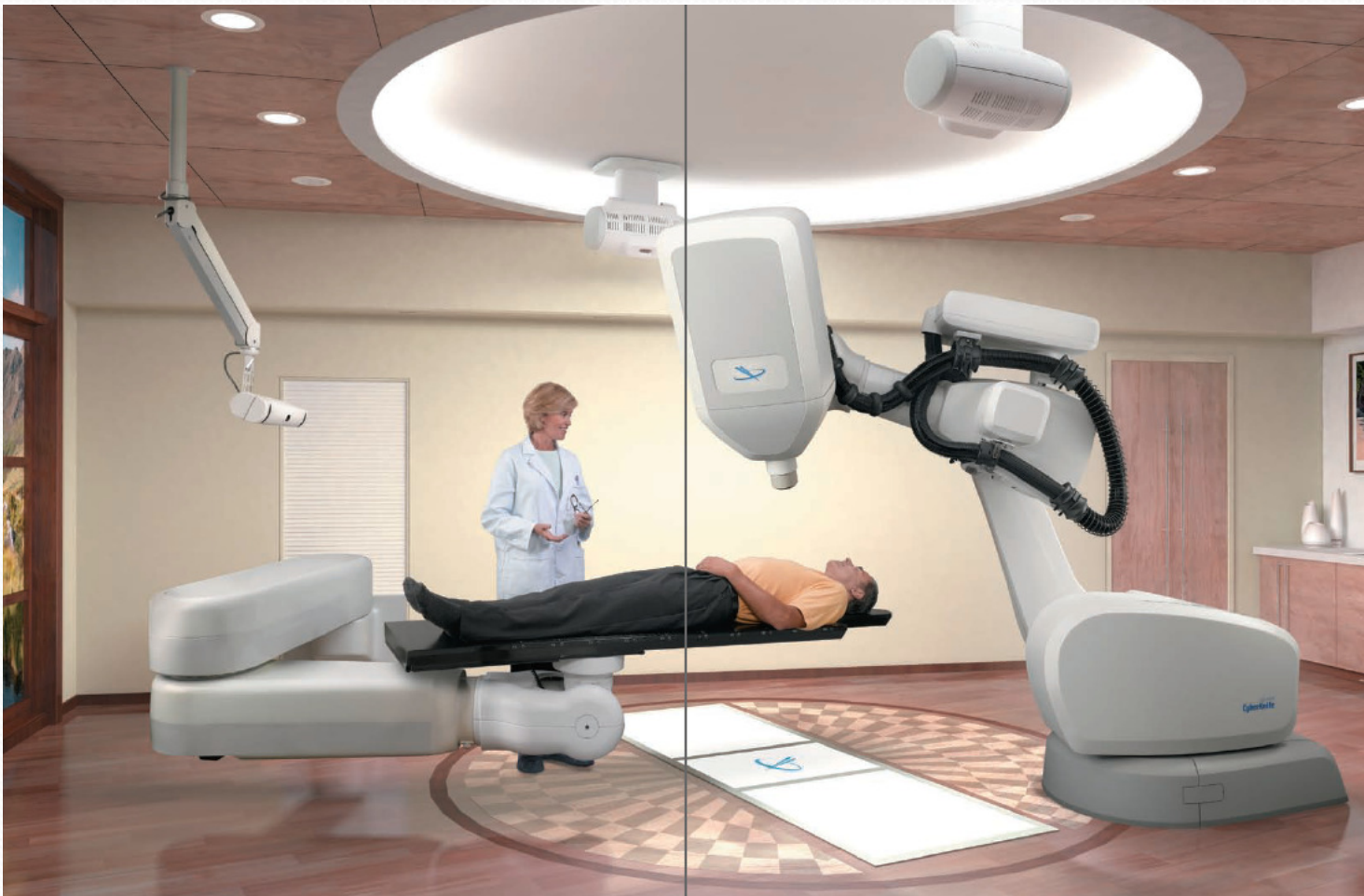


Unidad de teleterapia con ^{60}Co

Aplicaciones médicas.

Radioterapia

Últimos avances: Cyber-knife



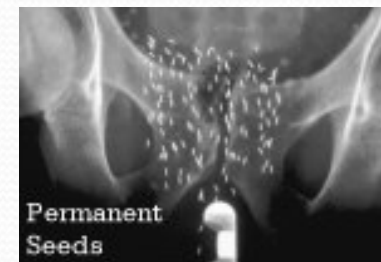
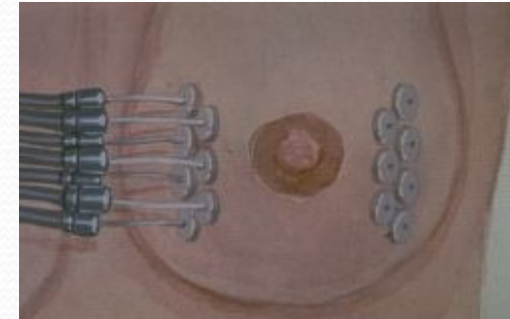
Aplicaciones médicas. Radioterapia

Braquiterapia:

- Intersticial – generalmente con agujas de ^{192}Ir
- Intracavitaria – ^{137}Cs (antiguamente ^{226}Ra)
- Implantes (semillas) de ^{125}I ó ^{198}Au

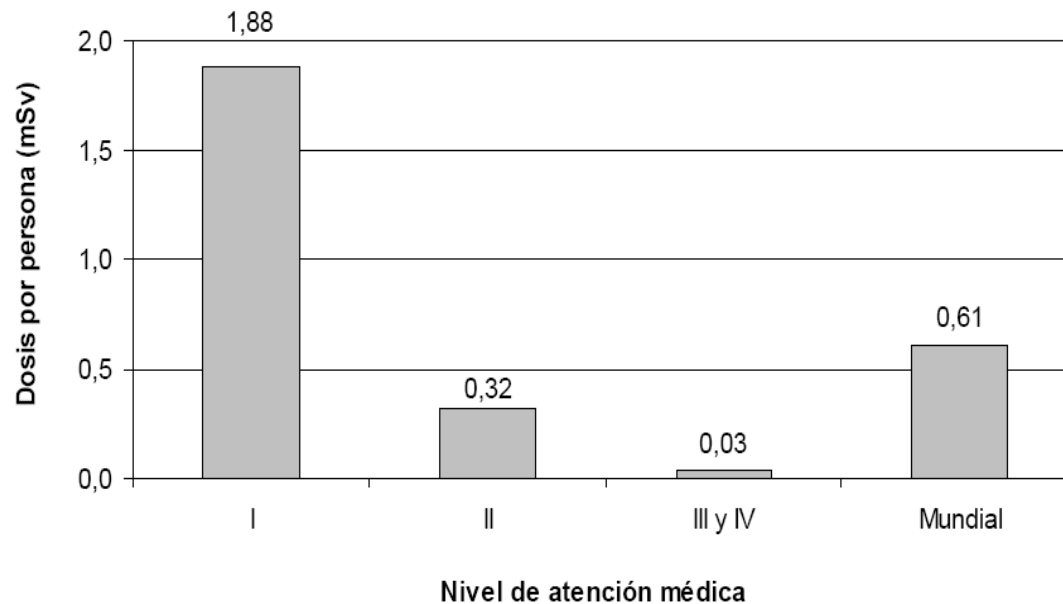


Braquiterapia. Sala de tratamiento



Exposiciones médicas a las radiaciones ionizantes (UNSCEAR 2008)

- La más importante fuente artificial - con mucha diferencia
- En los últimos 15 años los exámenes anuales se incrementaron un 50% hasta 3.6 mil millones.
- Las diferencias del uso entre los países son muy grandes
- Para algunos países, las dosis debidas a diagnóstico resultan ya ser superiores a las debidas a fuentes naturales
- La Tomografía Computarizada - es la que tuvo el más alto crecimiento



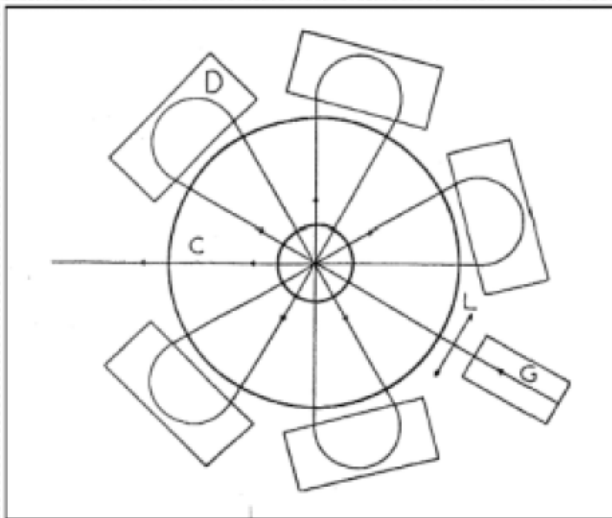
NIVELES DE ATENCIÓN SANITARIA

Nivel I	al menos un médico cada 1000 habitantes
Nivel II	un médico cada 1000-3000 habitantes
Nivel III	un médico cada 3000-10000 habitantes
Nivel IV	un médico para más de 10000 habitantes

EXPOSICIONES MÉDICAS (diagnóstico):

- ✓ La mayor parte de los exámenes médicos se producen en los países industrializados (25% de la población mundial)
- ✓ Dosis media (países desarrollados) $\cong 1.9$ mSv/a
- ✓ Dosis media mundial $\cong 0.6$ mSv/a.
- ✓ Resulta probable que las exposiciones se compensen con los beneficios que proporcionan a los pacientes

Esterilización de material quirúrgico e implantes



Sección de un Rodotron y trayectoria de los electrones: G: fuente de electrones; L: lente para enfoque; D: magnetos para deflexión del haz

- La radiación ionizante presenta grandes ventajas frente a la esterilización por calor o productos químicos.
- Se emplean irradiadores industriales con fuentes de ^{60}Co o aceleradores.



Aplicaciones industriales.

Ensayos no destructivos

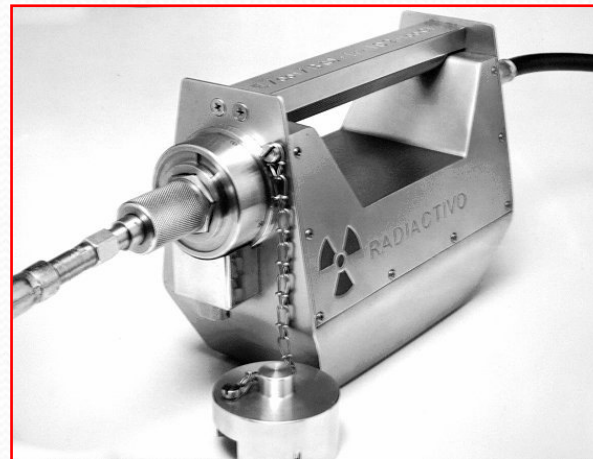
- Empleo de:
 - Rayos X
 - Fuentes γ
 - Mini-aceleradores
 - Fuentes de neutrones
- Obtención de imágenes de soldaduras, defectos, etc.
- Procesos delicados desde el punto de vista de la protección de los trabajadores



Equipo portátil de radiografía digital



Equipos de gammagrafía

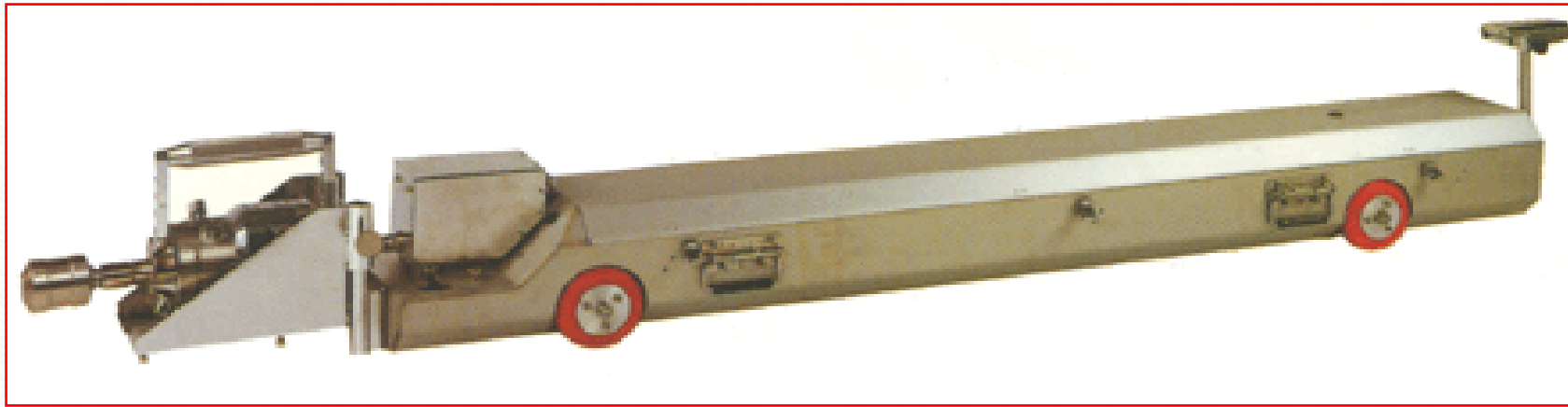


Conducto recto tipo revolver

Conducto sigmoidal en "U"

Conducto sigmoidal en "S"

Equipos “Crawler” (o “reptador”) (inspección oleoductos y gaseoductos)



Gammágrafo

Eyector

Carro motorizado

Detector de comando



Acelerador lineales. Betatrones



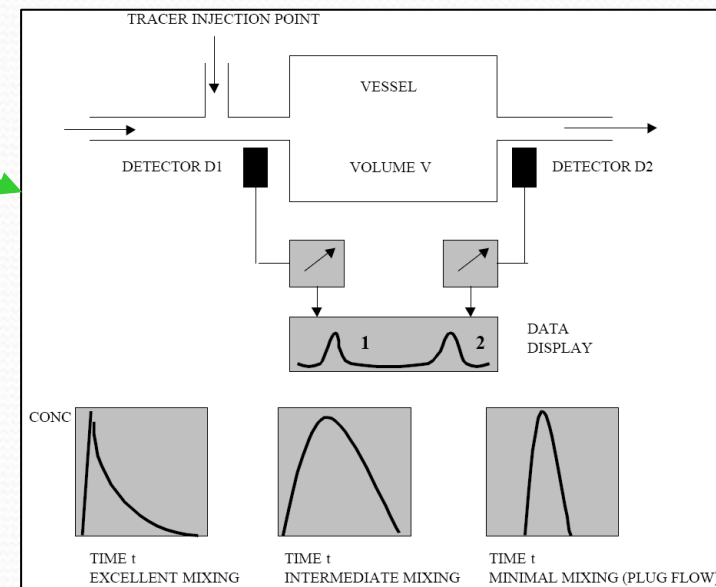
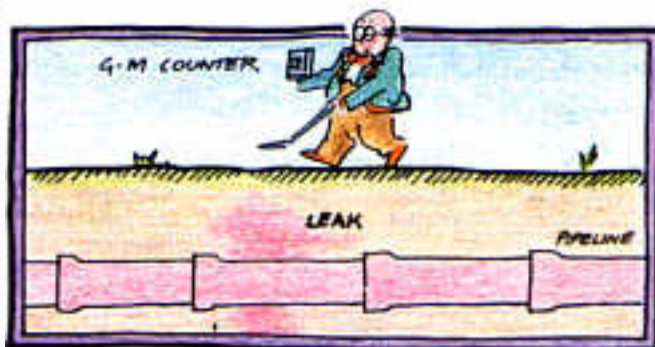
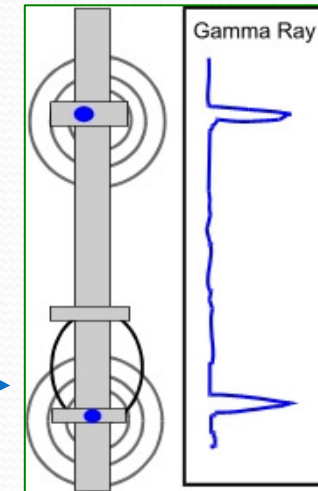
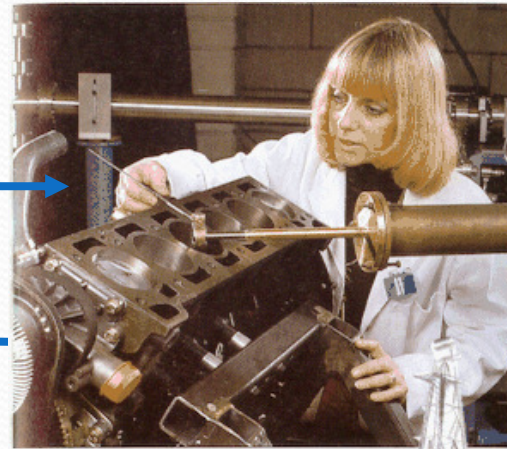
Cabezal

Unidad de mandos

Fuente de alimentación

Aplicaciones industriales. Trazadores

- Ejemplos:
 - Desgaste de segmentos en motores
 - Sensor de posición-profundidad de sondeos petrolíferos
 - Fugas en tuberías, oleoductos/gaseoductos
 - Estudio de procesos (caudal, régimen fluido, tiempos de retención, mezcla, etc.)



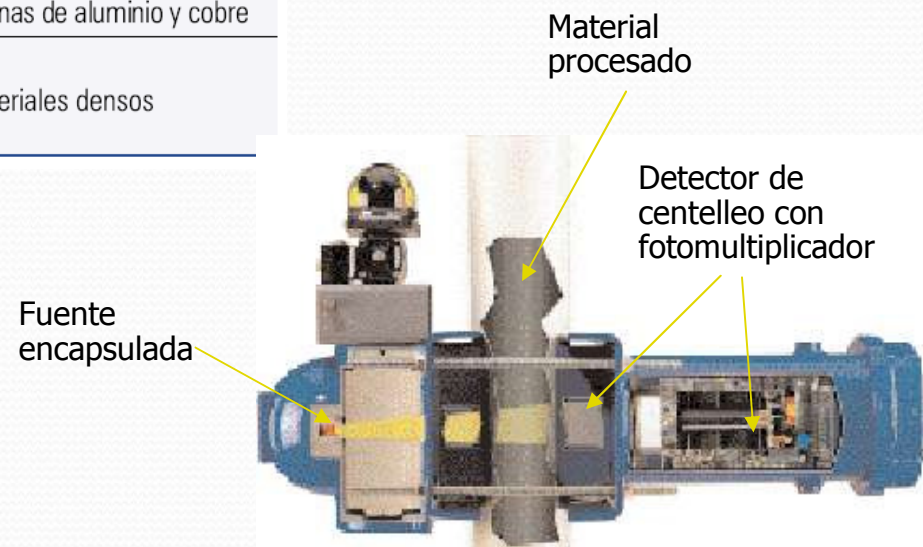
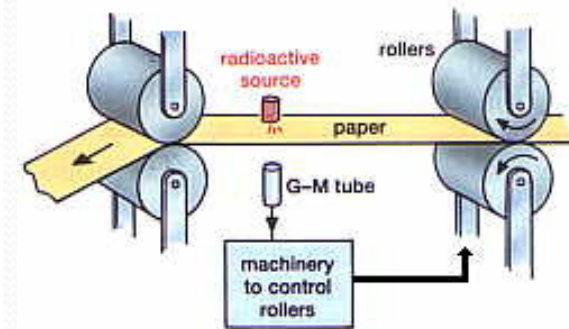
Aplicaciones industriales.

Instrumentos - medidores

Isótopos más utilizados para la medición de espesores y densidades

Isótopo	Símbolo	Semiperiodo	Radiación	Uso
Carbono-14	^{14}C	5730 años	β	para plásticos delgados
Níquel-63	^{63}Ni	100 años		
Kriptón-85	^{85}Kr	10,73 años	β	para papel y plásticos
Estroncio-90	^{90}Sr	29 años	β	para papel grueso y cintas
Itrio-90	^{90}Y	64 horas		
Bario-133	^{133}Ba	10,4 años	γ	para láminas de aluminio y cobre
Estroncio-90	^{90}Sr	29 años	β	para láminas de aluminio y cobre
Cobalto-60	^{60}Co	5,3 años	β	para materiales densos
Cesio-137	^{137}Cs	30,1 años		

- Insustituibles para el control automático de la producción de papel, plásticos, tabaco, laminado de acero y otros metales, tabaco, etc.



Aplicaciones industriales.

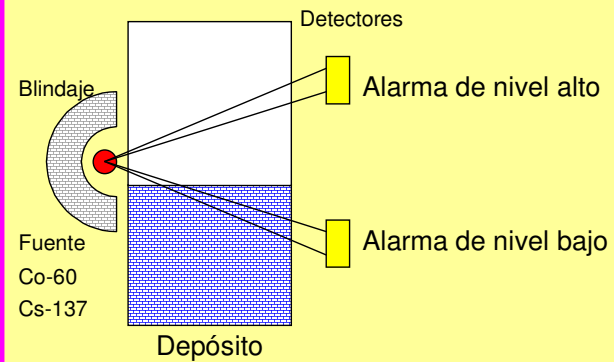
Instrumentos - medidores

Medidores de nivel:

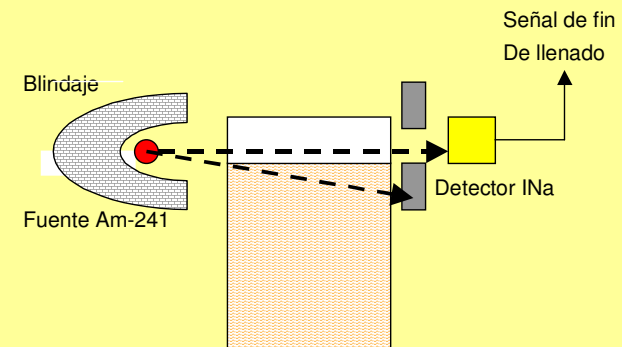
- Tanques
- Procesos activos (reactores químicos)
- Control de llenado de botellas



MEDIDA DE NIVELES DE LLENADO CON RADIACIÓN GAMMA



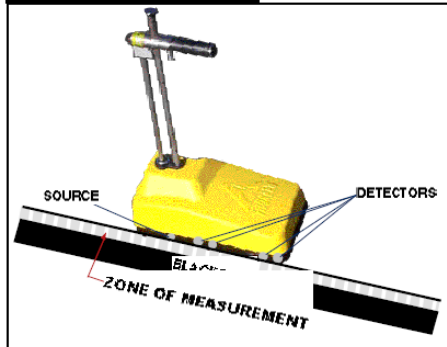
MEDIDA DE NIVELES DE LLENADO DE ENVASES DE LÍQUIDOS CON RADIACIÓN GAMMA



Aplicaciones industriales.

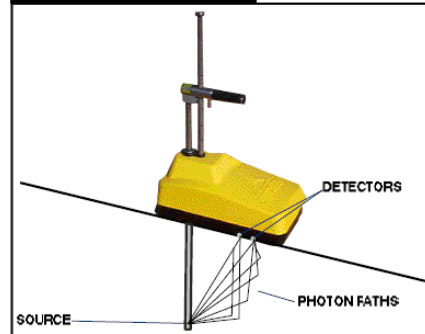
Instrumentos - medidores

Thin Overlay Asphalt



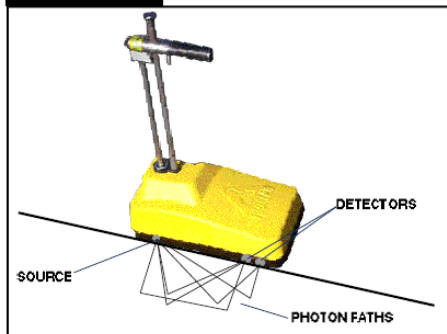
This patented Troxler process measures the density of asphalt & concrete overlays from 1-4 in. (2.5 - 10 cm) without influence from the underlying material.

Direct Transmission



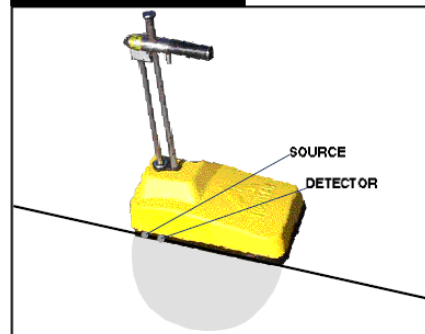
Density measurement of choice for lifts of soil, soil aggregate and stone up to 12 in. (30.48 cm).

Backscatter



Ideal nondestructive density measurement mode for full depth asphalt and concrete.

Moisture Detection



Nondestructive moisture measurement for soil, soil aggregate and stone base.

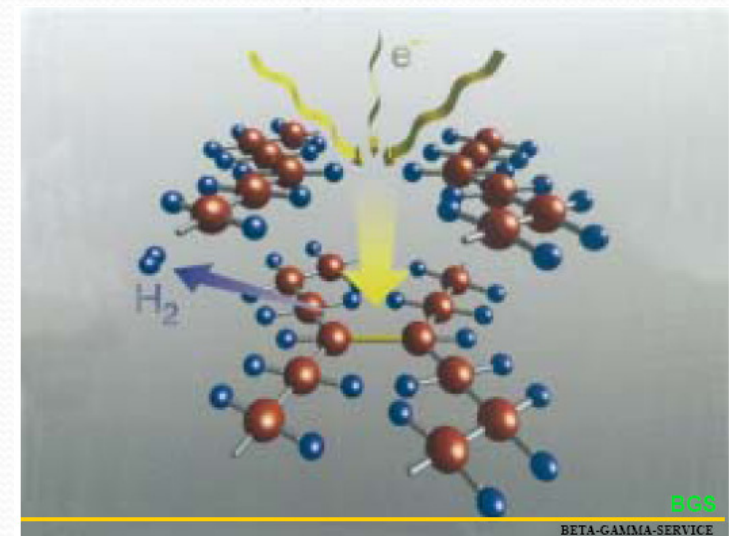
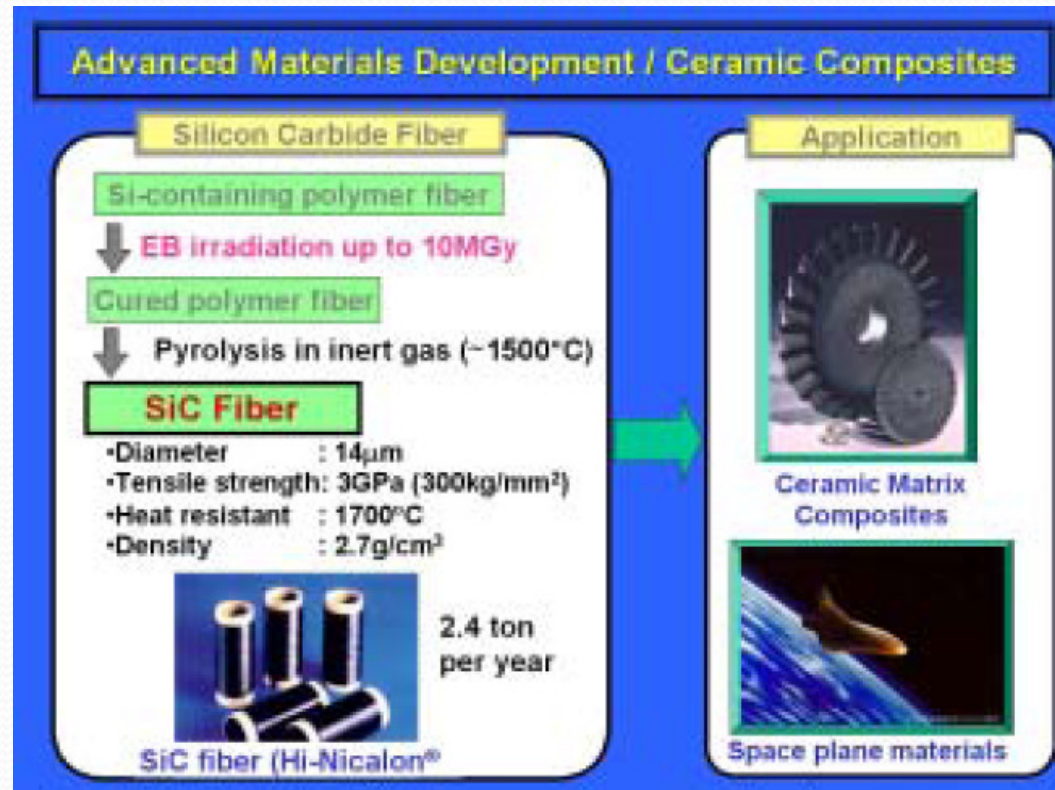


Sondas neutrón-gamma (fuentes de $^{241}\text{Am-Be}$ y ^{137}Cs) empleadas habitualmente en la industria de construcción-obras públicas para medida de densidad de asfalto, compactación de suelos y grado de humedad

Aplicaciones industriales.

Tratamiento de materiales

Producción de fibra de SiC altamente resistente al calor



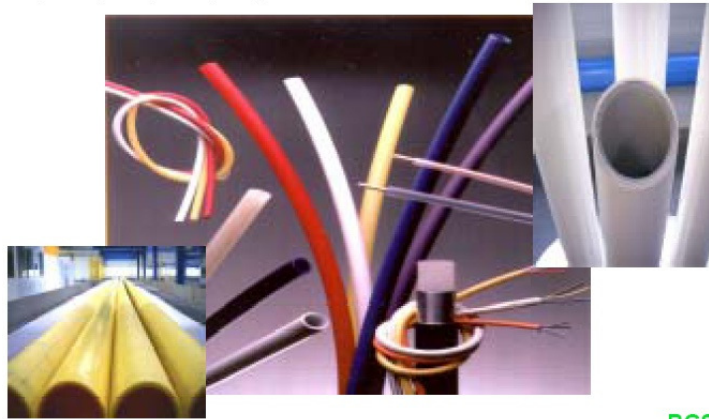
Apertura y cruce de enlaces en polietileno mediante ionización

Aplicaciones industriales.

Tratamiento de materiales

Diversos productos de polietileno producidos mediante irradiación: tuberías, revestimientos de cables, materiales con "efecto memoria", elastómeros, piezas para motores de automóvil, etc.

Application: Tubes produced from PE, EVA, PA, TPE, PU, PVC



BGS

BETA-GAMMA-SERVICE

Application: Shrinkable Products

By means of irradiation we receive the Memory-Effect.

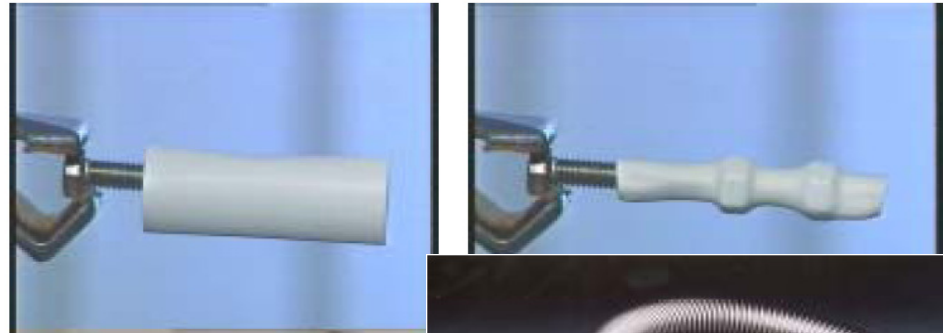


FIG. 1. Shrinkable



Part: PBT
Seal: TPE



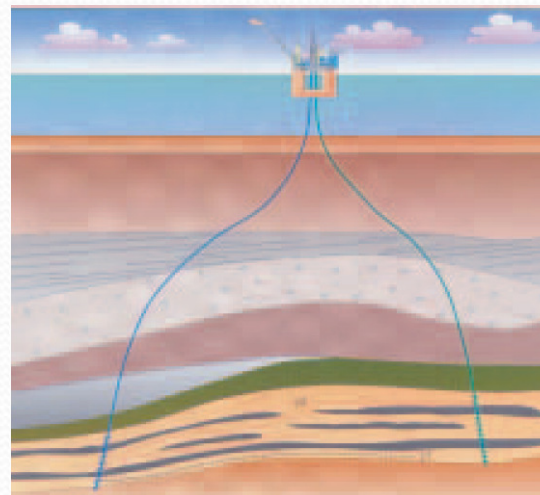
Aplicaciones industriales.

Prospección energética y minera

- Establecimiento de perfiles radiométricos de sondeos
- Estudio de densidad mediante dispersión de radiación con sondas γ
- Estudio de humedad mediante sondas neutrónicas
- Análisis de muestras en laboratorio mediante técnicas diversas
- Estudio de yacimientos petrolíferos y geotérmicos mediante inyección de trazadores

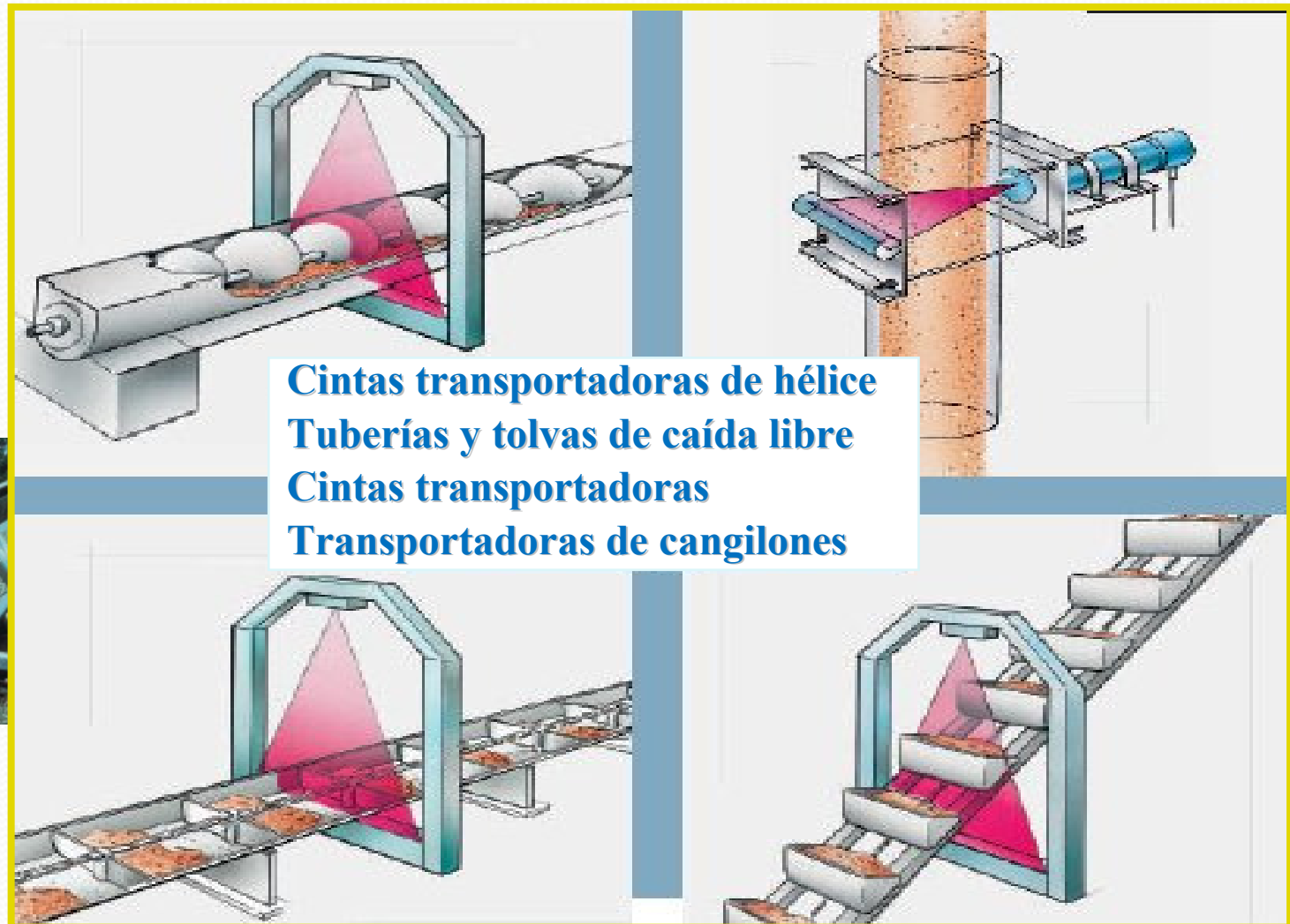


Inyección de tritio en un campo petrolífero

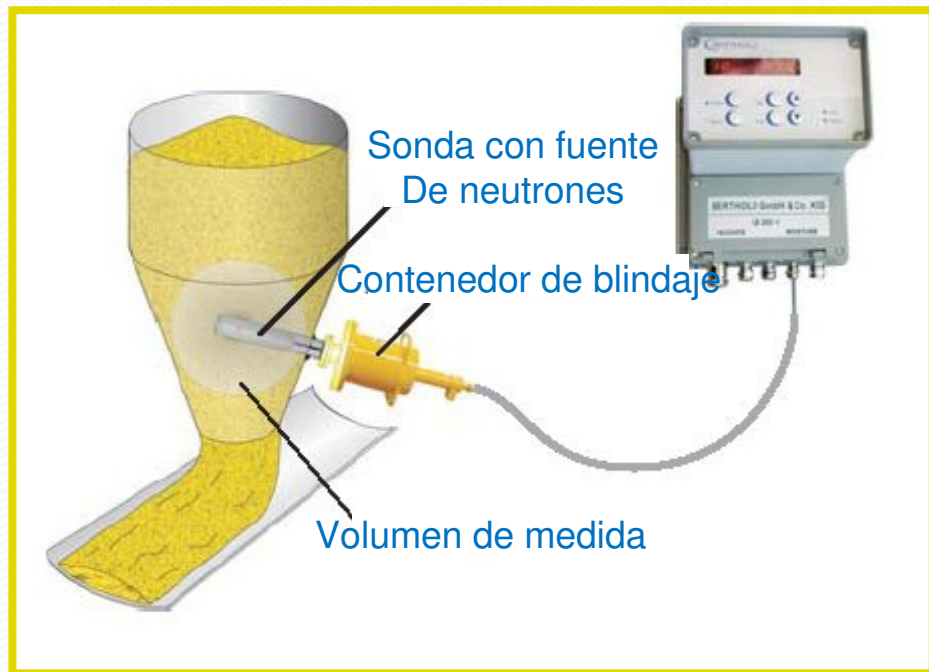


Estudio de un yacimiento petrolífero mediante la inyección y detección de un pulso de trazador

Medida de materiales a granel



Medida de Humedad con Neutrones

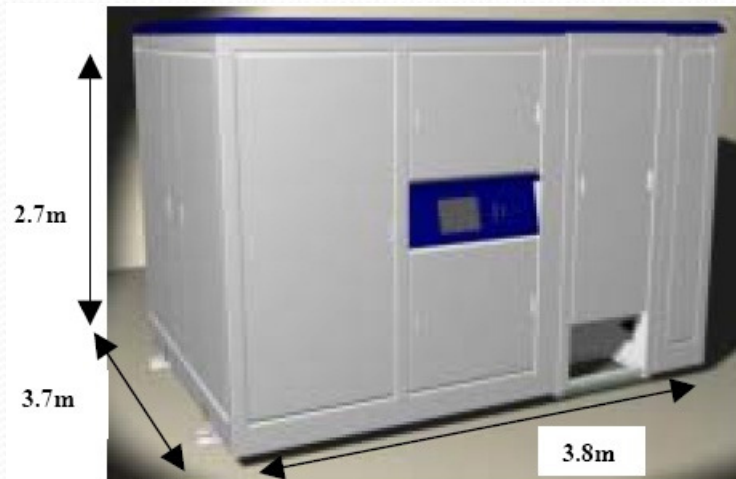
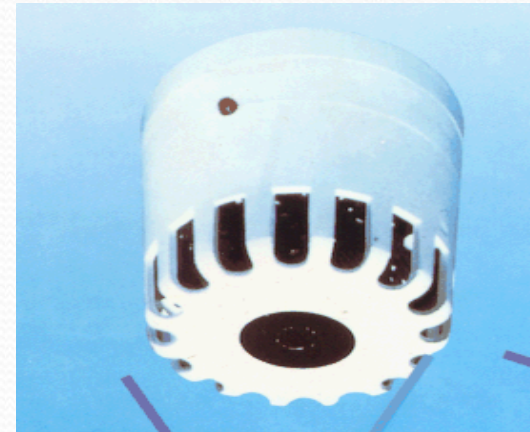


Fuente de Am/Be $\rightarrow 2,2 \cdot 10^6$ n/s·Ci

Aplicaciones industriales.

Otras aplicaciones

- La fabricación de aceleradores de pequeño tamaño abre muchas posibilidades para sus aplicaciones industriales en distintos sectores

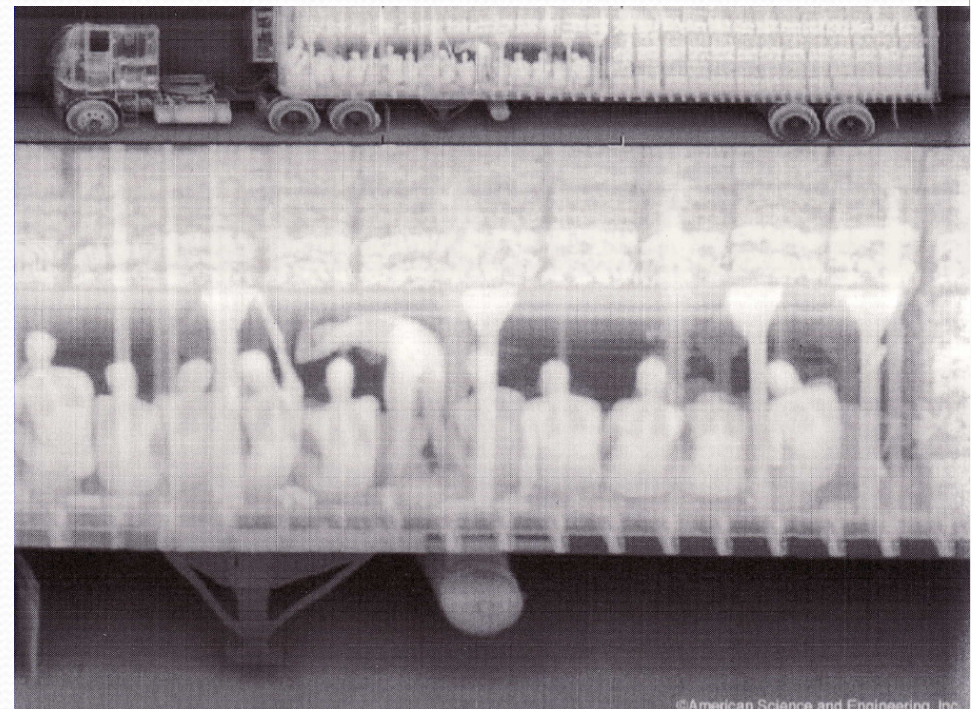
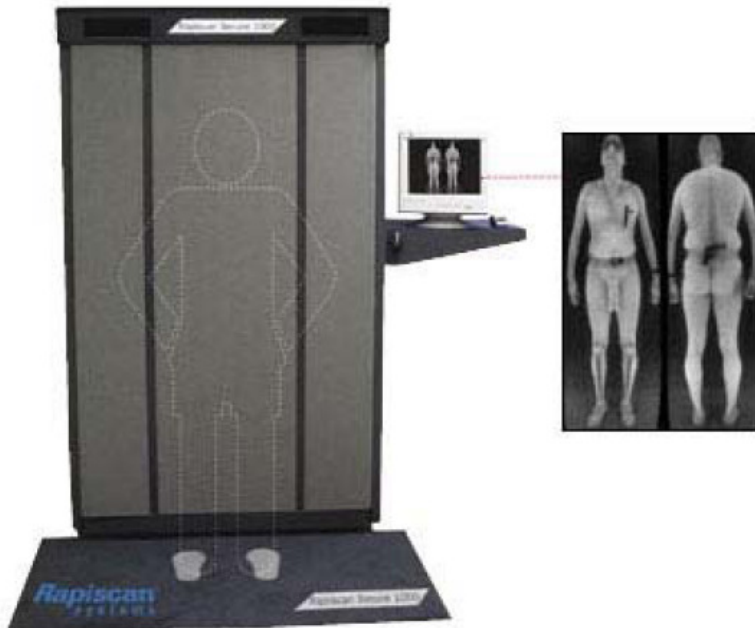
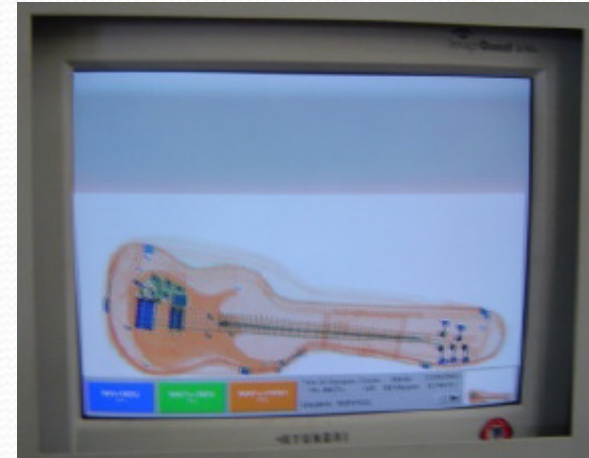


a. Betaline System for in-house sterilization

- El empleo de detectores de humo basados en la combinación de una pequeña fuente emisora α y un detector, es hoy en día habitual en todos los edificios públicos
- También se emplean fuentes α para eliminar la electricidad estática en industrias del papel, textil, etc.

Otras aplicaciones. Seguridad física

- Escáner de Rayos X
- Novedad: Retrodispersión de rayos X



Aplicaciones medioambientales.

Reducción de la contaminación



Planta de depuración de efluentes (SiO_2 y NO_x) en una central térmica de carbón mediante irradiación con aceleradores de electrones. La ionización produce radicales oxidantes y, tras su combinación con amoníaco, se forman sales amónicas utilizables como fertilizantes.

Planta de depuración de aguas residuales en la que se elimina la contaminación bacteriana mediante irradiación con aceleradores de electrones. Los lodos acondicionados son utilizables como fertilizantes.

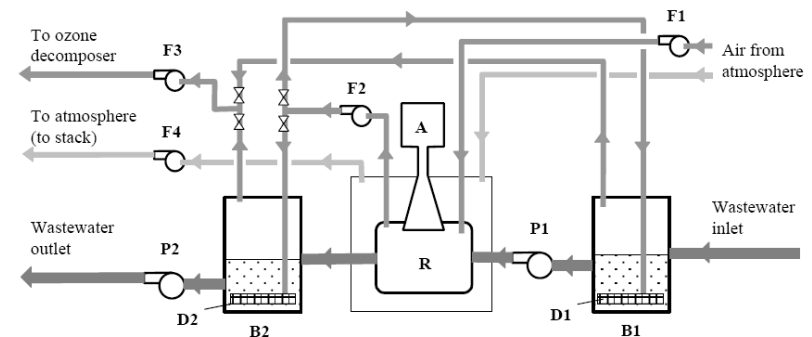


FIG. 3. Simplified technological scheme of the plant. In the scheme (see Basic equipment): F1-F4 – Air fans, P1-P2 – Water pumps, D1 and D2 – Diffusers, A – Accelerator, R – Reactor, B1 and B2 – Primary and secondary basins.

Aplicaciones medioambientales.

Contaminación y ecología

- El empleo de trazadores radiactivos en cantidades muy pequeñas, permite hacer un seguimiento de la distribución y comportamiento de los contaminantes en el medio ambiente
- La presencia global de algunos radionucleidos de origen artificial (p.ej. ^{137}Cs y otros liberados durante las pruebas atómicas en la atmósfera, hasta 1964) ha permitido caracterizar el funcionamiento de muchos ecosistemas



Courtesy Monaco Centre de Presse

Laboratorio del OIEA para el estudio de la ecología marina (Mónaco)

Aplicaciones medioambientales.

Hidrología

- Las técnicas isotópicas ayudan al estudio y conservación de los recursos hídricos
 - Aguas superficiales: dinámica de lagos y embalses, filtración de represas, descargas de ríos, sedimentación y transporte de sedimentos
 - Aguas subterráneas: origen, edad, distribución, mecanismos de recarga de acuíferos, interconexiones
- Se emplean tanto isótopos naturales (^3H y ^{14}C principalmente) como artificiales (^{131}I).



Aplicaciones medioambientales.

Erradicación de plagas

- La técnica de esterilización de insectos mediante irradiación ha permitido reducir o eliminar numerosas plagas que afectan a personas, animales y plantas
- Ejemplos:
 - Mosca mediterránea de la fruta
 - Mosca del gusano barrenador del Nuevo Mundo
 - Mosca Tse-Tsé
 - Mosquito de la malaria (anopheles)



Aplicaciones agro-alimentarias.

Trazadores y mejoras genéticas

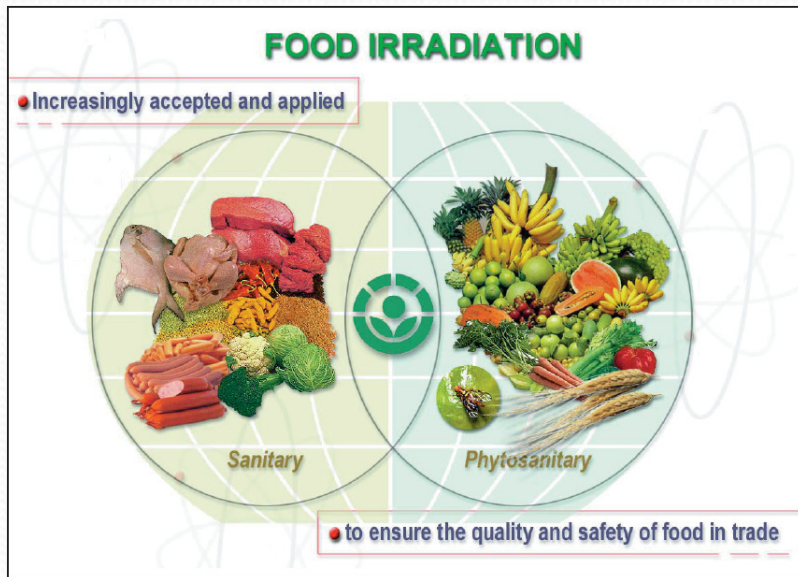
- Estudio mediante trazadores de la fertilidad del suelo, optimización de la irrigación y mejora de productos agrícolas
- Mutación inducida
 - Aumento de la resistencia al encamado.
 - Maduración más temprana o más tardía
 - Mejoras de las características de las semillas
 - Aumento de la resistencia a las enfermedades de los cultivos
 - Mejora de las características agronómicas
 - Mejora del rendimiento: aumentos de hasta el 45%
- Lucha contra las plagas



Plantas de sorgo modificadas genéticamente mediante radiación junto a la variedad original

Aplicaciones agro-alimentarias.

Irradiación de alimentos



Dirección http://www.emro.who.int/ceha/food_prog.asp#top

WHO-CEHA Regional Center for Environmental Health Activities

Home | About CEHA | Publications & Documents | CEHANET | News & Upcoming Events | Applied Research | Inter-Agency

Community Water Supply and Sanitation

Promotion of Health Cities Villages and Communities

EH Risk Assessment and Management

Food Safety

Chemical Safety

EH Emergencies and Refugee Camp

Food Safety > CEHA Programme and Activities

Plan for 2002/2003

[Promotion of Food Irradiation](#)

[Targets](#)

[Products](#)

[Hazard analysis critical control point \(HACCP\)](#)

[Targets](#)

[Products](#)

[Assessment of Lead Poisoning](#)

[Targets](#)

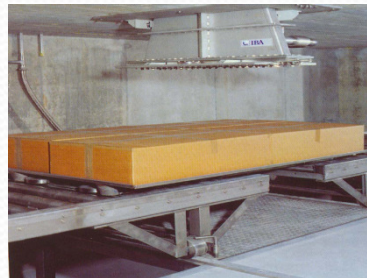
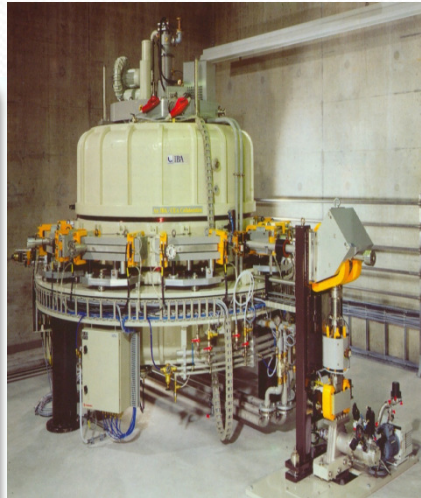
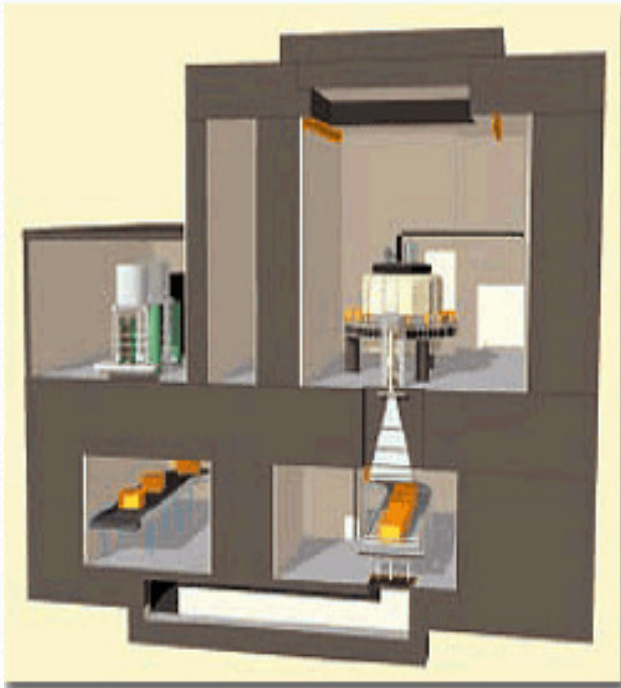
[Products](#)



Irradiation is one of the food technologies, which is being appreciated more and more in EMR (Eastern Mediterranean Region) countries' food safety programmes, **plays a pivotal role in improving the nutritional quality of food, ensuring its safety, preventing food borne diseases and often used for the protection of imported food as secondary food processing method.** Implementation of this technology requires special attention since any overdose application may easily destroy the irradiated food or maybe accumulated in it resulting a big threat to human health.

Aplicaciones agro-alimentarias.

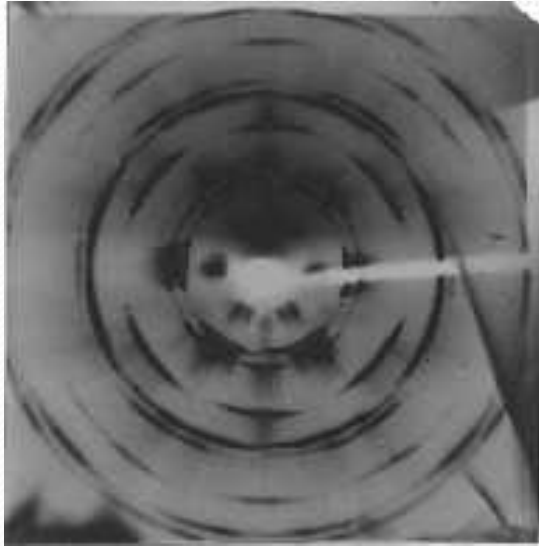
Irradiación de alimentos



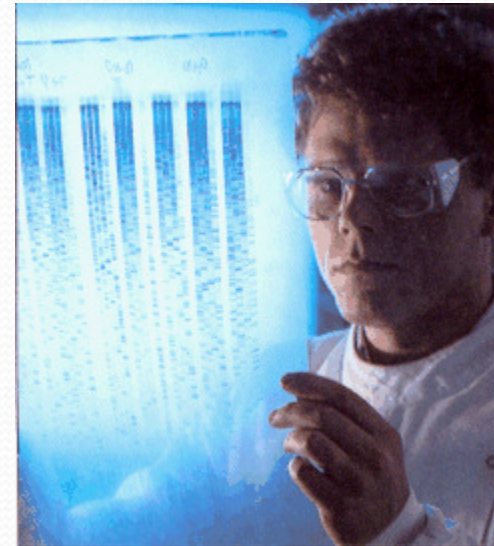
Ejemplos de instalaciones industriales para la irradiación de alimentos.

Se utilizan aceleradores o fuentes gamma de gran potencia.

Aplicaciones en investigación

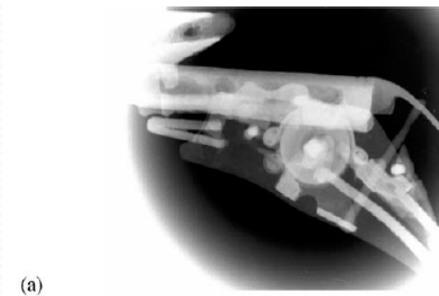


- **Análisis mediante difracción de rayos X.**
- **Permite estudiar la estructura de cristales y moléculas.**
- **Por ejemplo, permitió conocer la estructura del ADN**
- **Más avanzado: utilización de luz sincrotrón o de neutrones muy lentos (fríos)**

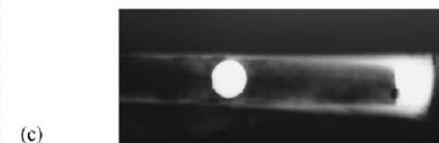
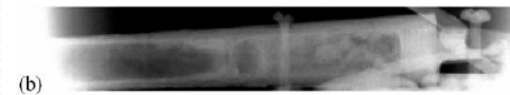


Otras aplicaciones

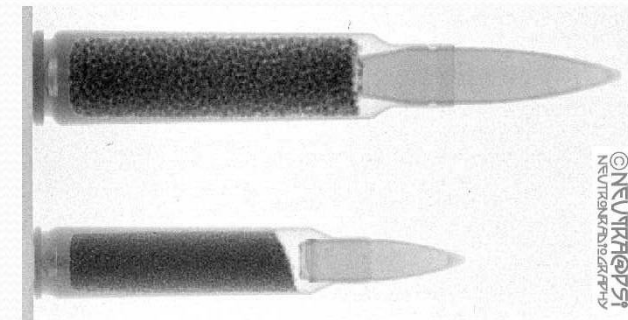
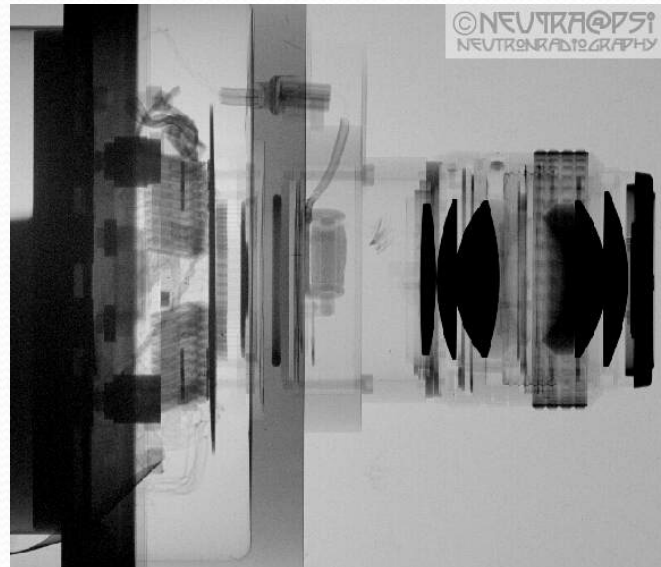
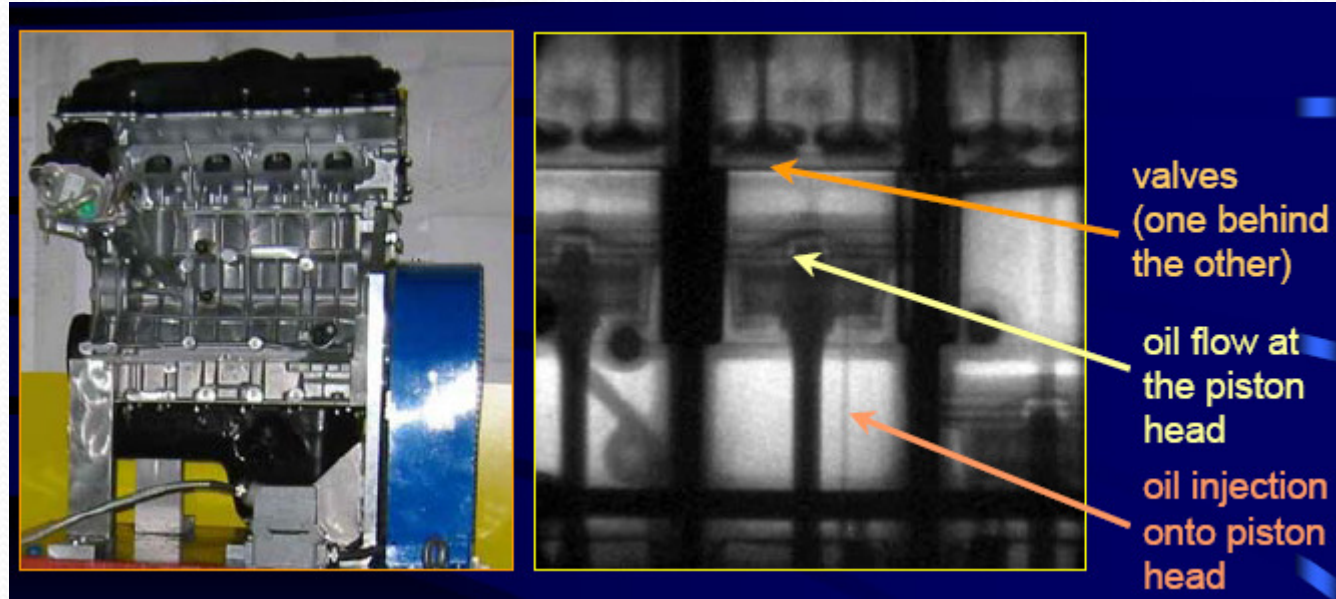
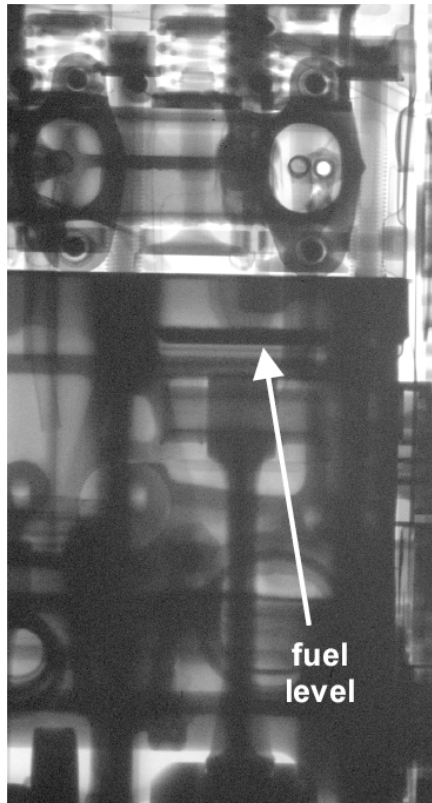
- **Estudio y conservación del patrimonio histórico-artístico :**
 - Obras pictóricas
 - Instrumentos musicales
 - Esculturas
 - Libros y documentos de archivos
- **Detección de minas terrestres** (sondas neutrónicas)



Estudio de una pistola antigua mediante neutrografía y radiografía



Neutrografía en ensayos no destructivos de materiales



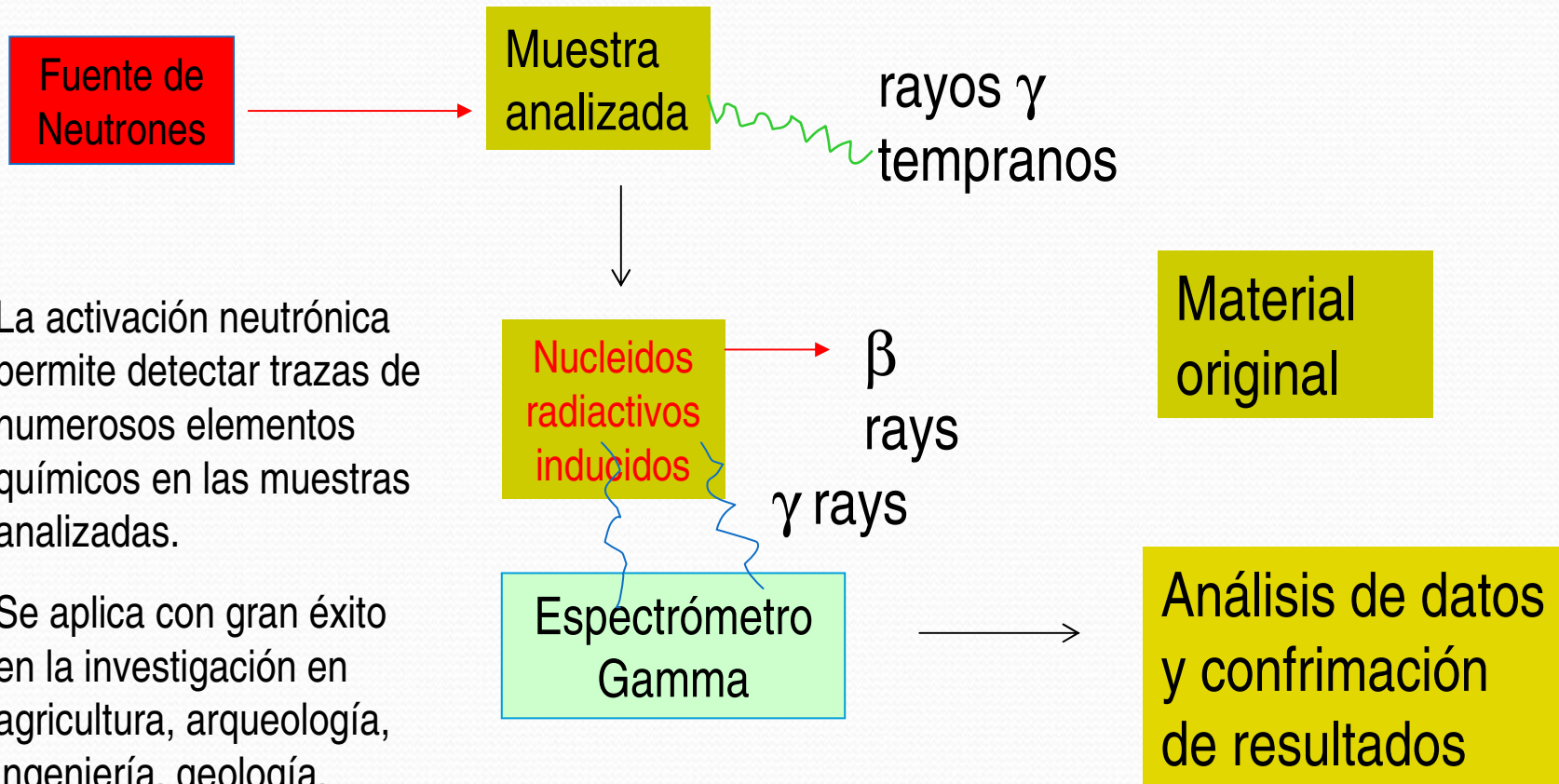
Aplicaciones en investigación.

Análisis por activación neutrónica

- Cuando un material se introduce en un campo de neutrones se producen reacciones de activación.
- Las reacciones de activación dejan a los núcleos en estado excitado.
- Si el radioisótopo producido decae por emisión de fotones gamma, éstos se pueden utilizar para determinar la composición elemental del material.

Aplicaciones en investigación.

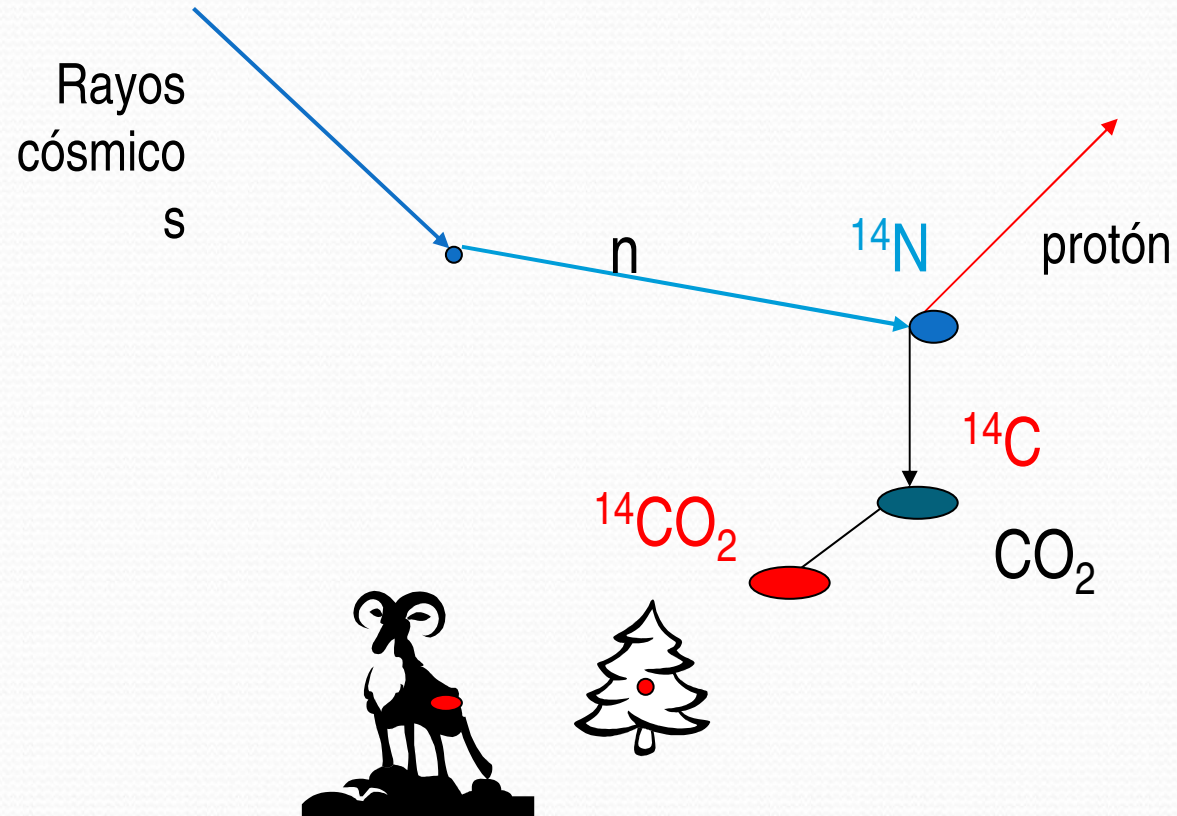
Análisis por activación neutrónica



- La activación neutrónica permite detectar trazas de numerosos elementos químicos en las muestras analizadas.
- Se aplica con gran éxito en la investigación en agricultura, arqueología, ingeniería, geología, medicina, oceanografía, investigación forense y criminal, etc.

Aplicaciones en investigación.

Datación

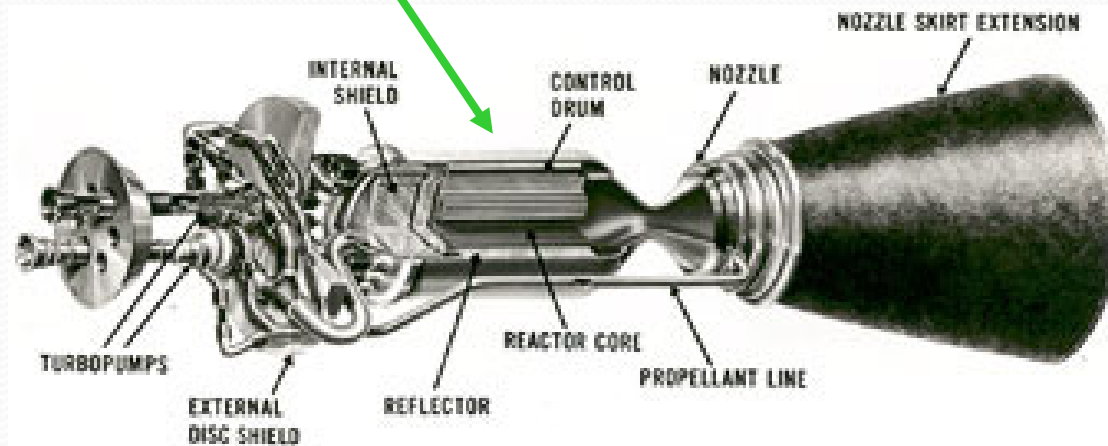
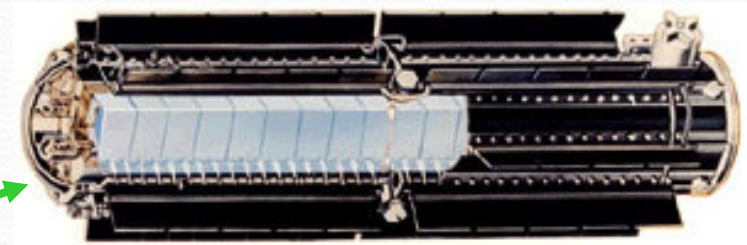


- El ^{14}C ($T_{1/2}=5760$ años) se forma en la atmósfera por acción de los rayos cósmicos y se integra en el ciclo global del carbono.
- Al morir los seres vivos dejan de intercambiar carbono con el exterior, y el ^{14}C en su interior se desintegra.
- La proporción existente de ^{14}C permite la datación de restos arqueológicos.
- Por su parte, el ^{40}K ($T_{1/2}=1.25\text{e}9$ años) permite la datación de minerales

Aplicaciones en investigación.

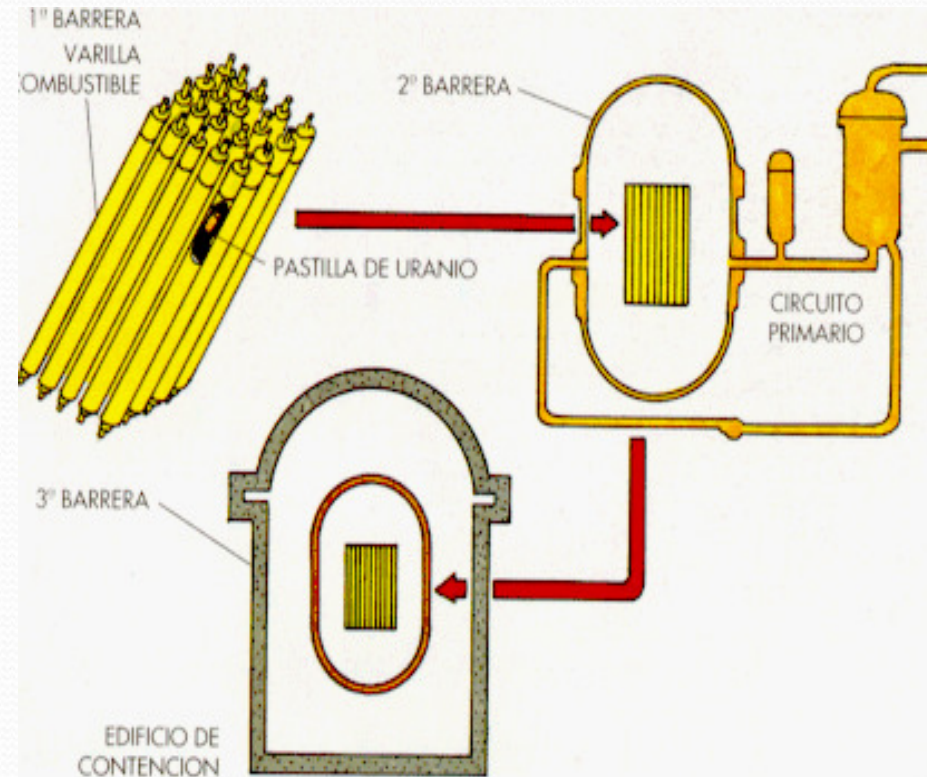
Exploración espacial

- Las sondas espaciales de gran alcance solo pueden alcanzar esas distancias gracias a los generadores de energía isotópicos (termoiónicos) o nucleares (mini-reactores)



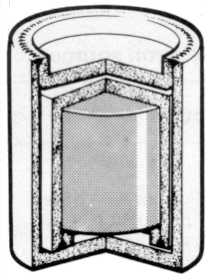
Aplicaciones energéticas.

Energía nuclear



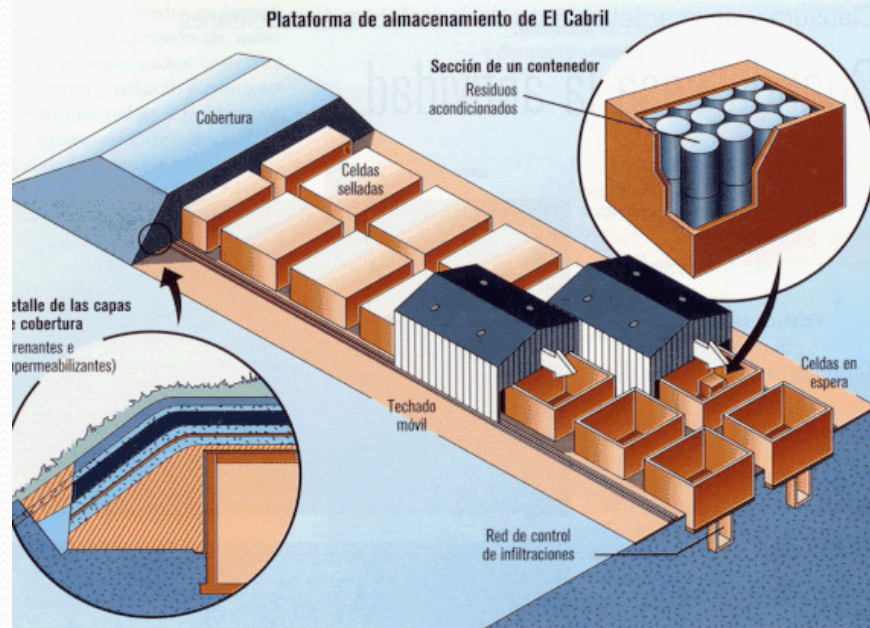
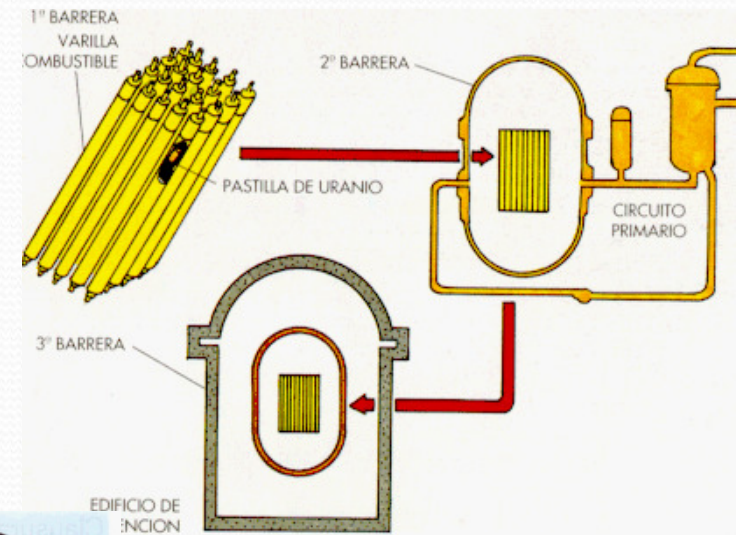
LA FISIÓN NUCLEAR SE EMPLEA COMO FUENTE DE ENERGÍA EN LAS CENTRALES NUCLEARES. LOS PRODUCTOS RADIATIVOS SE AISLAN DEL MEDIO AMBIENTE MEDIANTE BARRERAS SUCE

Confinamiento de sustancias radiactivas mediante barreras múltiples



Fuente radiactiva con doble encapsulado

Barreras de protección en un reactor de agua a presión



Centro de almacenamiento de residuos radiactivos de baja y media actividad

Instalaciones Radiactivas en España

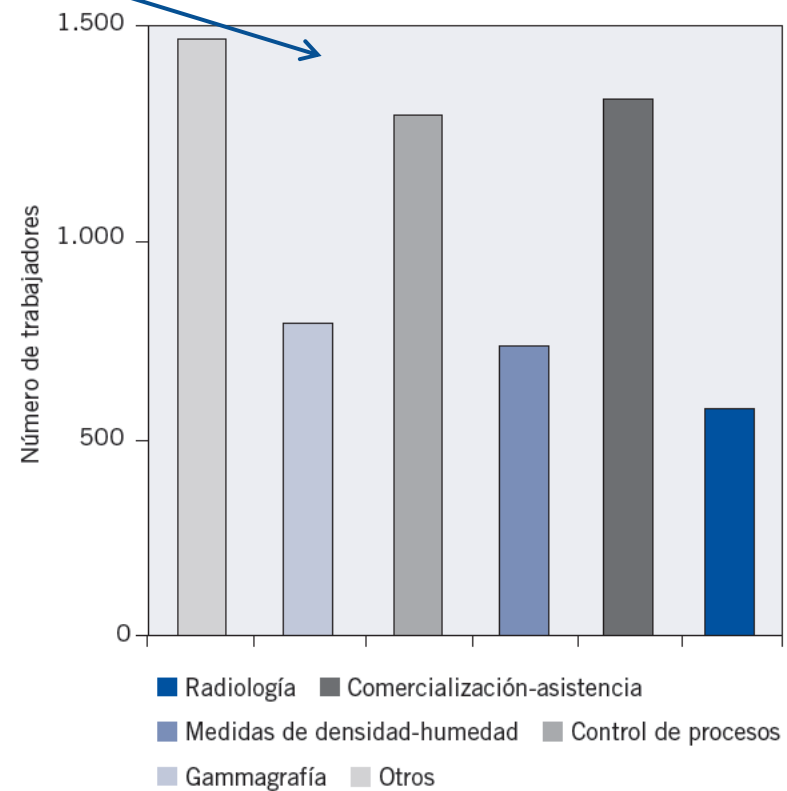
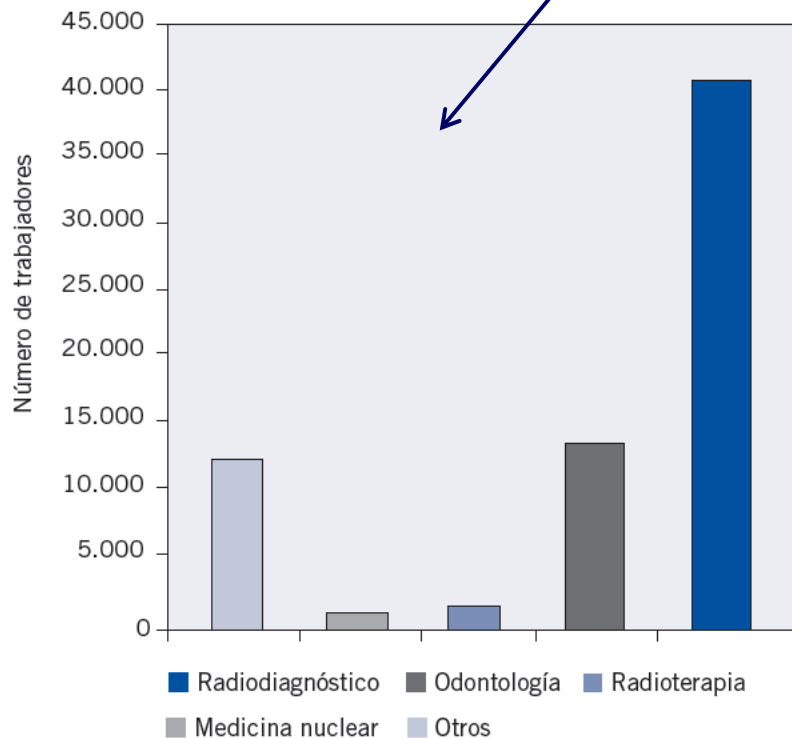
Evolución del número de instalaciones por campos de aplicación

Categoría	Campo de aplicación	2004	2005	2006	2007	2008
1ª	Irradiación	1	1	1	1	1
	Subtotal	1	1	1	1	1
2ª	Comercialización	55	49	46	51	53
	Investigación y docencia	82	84	80	85	89
	Industria	587	600	582	597	604
	Medicina	270	276	287	309	315
	Subtotal	994	1.009	995	1.042	1.061
3ª	Comercialización	16	12	13	14	15
	Investigación y docencia	88	90	89	95	95
	Industria	161	145	152	157	156
	Medicina	70	66	57	52	51
	Subtotal	335	313	311	318	317
	Rayos X médicos	24.069	25.222	25.902	28.438	29.714
	Total	25.399	26.545	27.209	29.799	31.093

(CSN, Informe anual 2008)

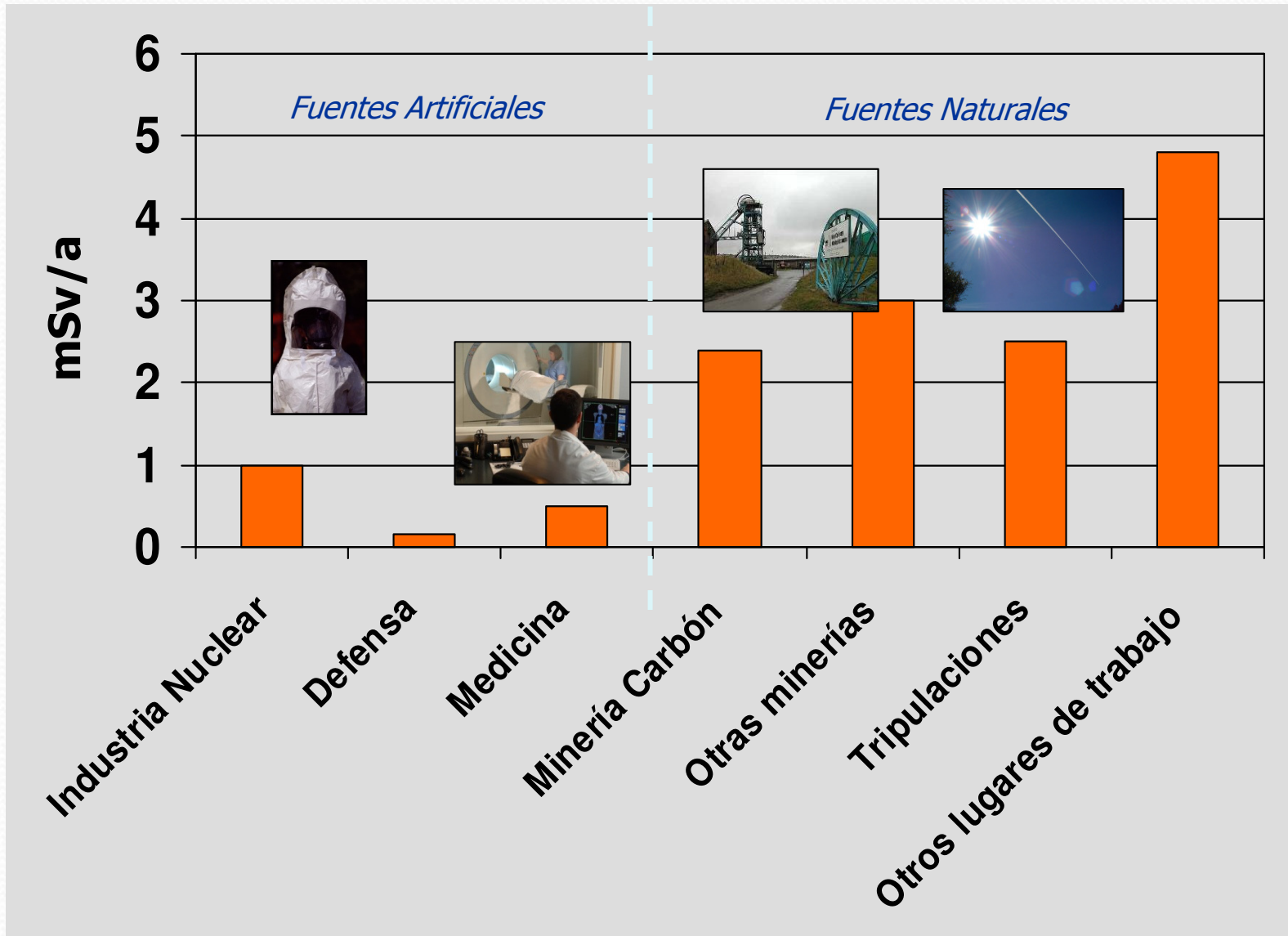
Instalaciones Radiactivas en España

Número de trabajadores en instalaciones radiactivas médicas e industriales (2005)



Impacto de las fuentes de radiación ionizante

Exposiciones ocupacionales medias (UNSCEAR)

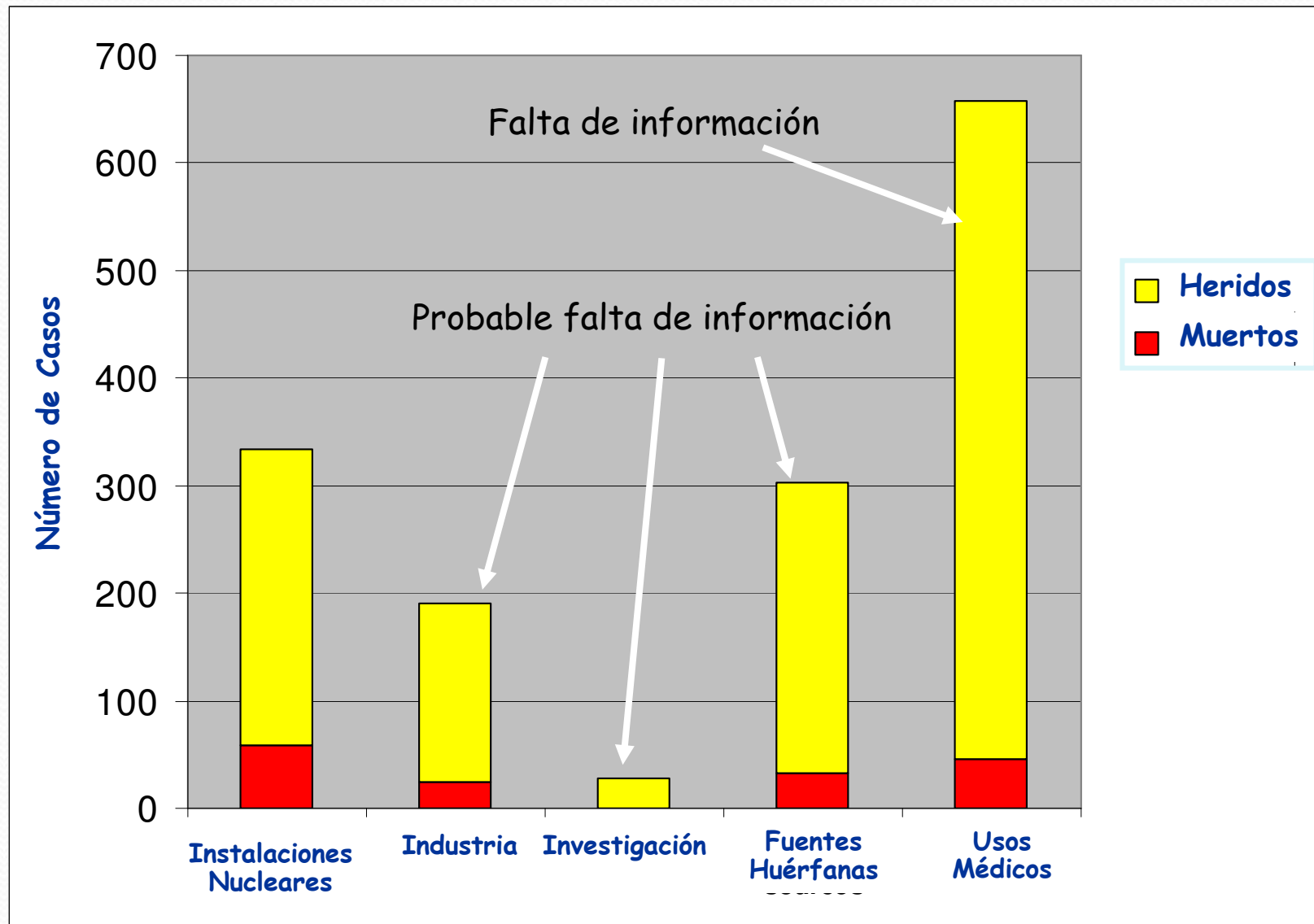


Vigilancia dosimétrica de los trabajadores españoles

- Datos año 2008 (Informe Anual CSN):
 - Un total de **99.747** trabajadores controlados dosimétricamente en España, a los que correspondió una dosis colectiva de 21.508 mSv·persona.
 - La dosis individual media fue de **0,71 mSv/año**
 - El 99,90% de los trabajadores recibió dosis inferiores a 6 mSv/año
 - El 99,99 % recibió dosis inferiores a 20 mSv/año

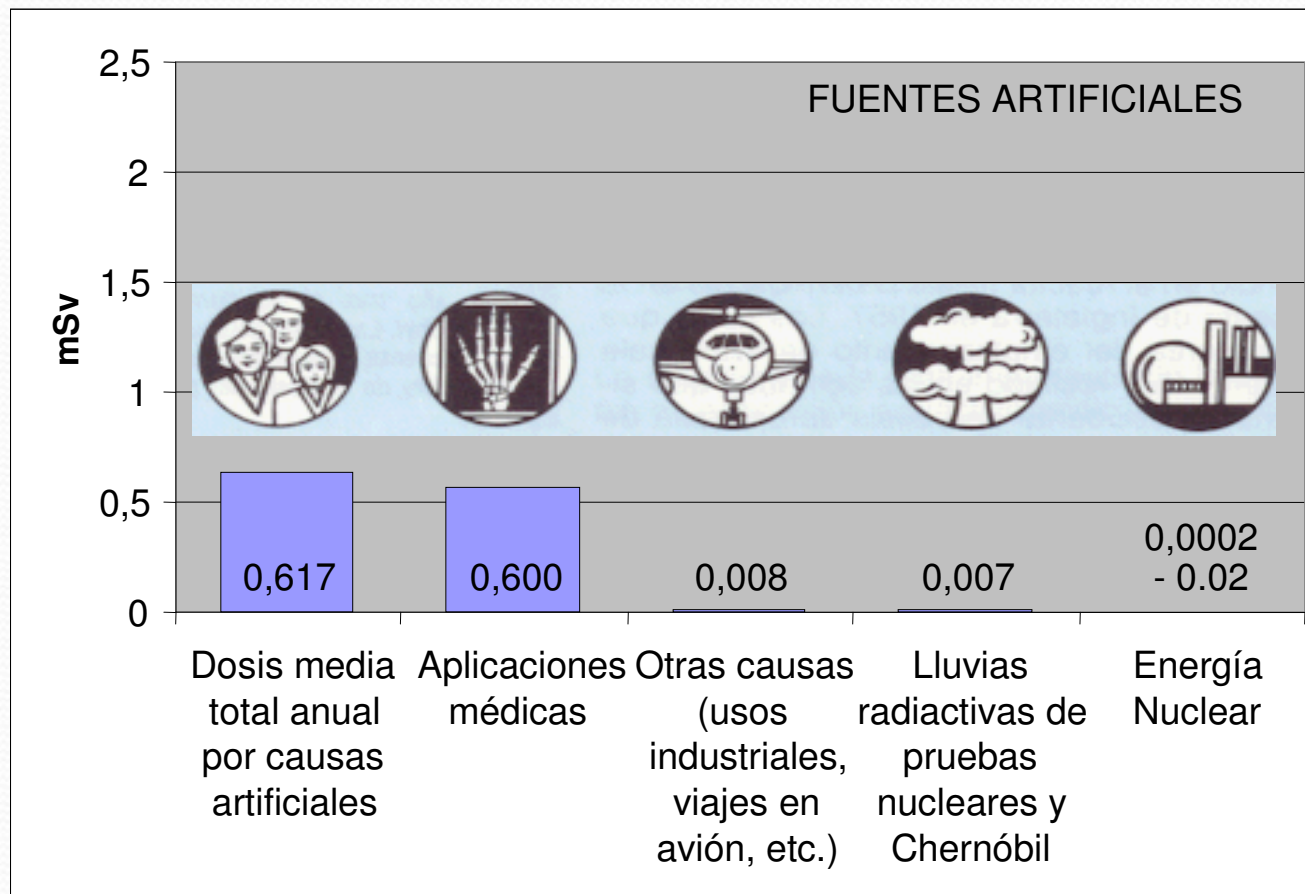
Instalaciones	Número de trabajadores	Dosis colectiva (mSv.persona)	Dosis individual media (mSv/año)
Centrales nucleares	6.667	2.749	1,12
Instalaciones del ciclo de combustible, de almacenamiento de residuos y centros de investigación (Ciemat)	1.201	119	0,70
Instalaciones radiactivas			
Médicas	79.486	14.754	0,63
Industriales	7.593	2.996	1,07
Investigación	4.875	548	0,39
Instalaciones en fase de desmantelamiento y clausura	304	135	1,05
Transporte	114	208	2,57

Víctimas de accidentes, efectos tempranos



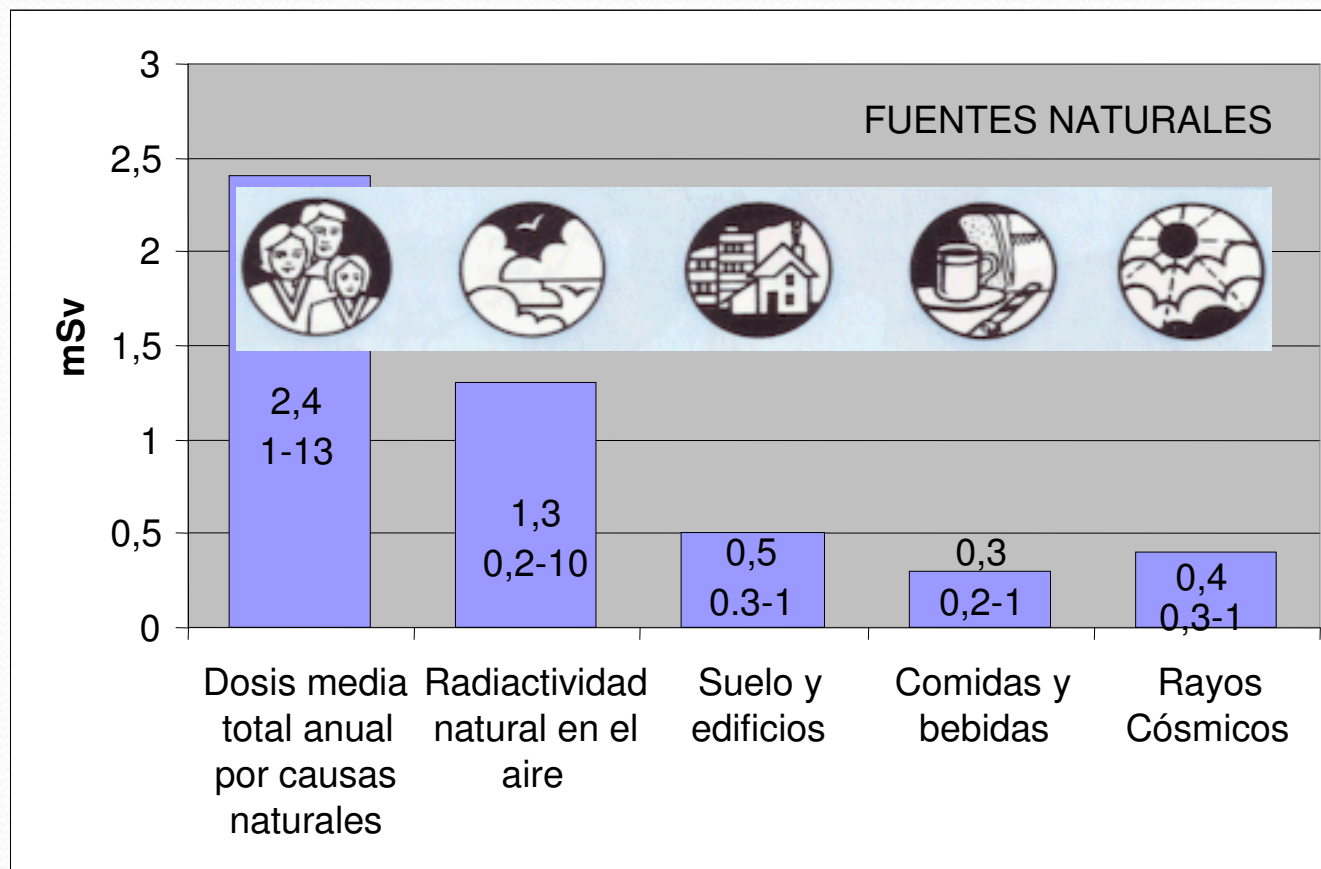
(Fuente: UNSCEAR)

DOSIS ANUALES MEDIAS POR FUENTES ARTIFICIALES



Contribución de las diferentes fuentes de radiación artificiales a la dosis media total anual recibida por la población mundial (UNSCEAR, 2008)

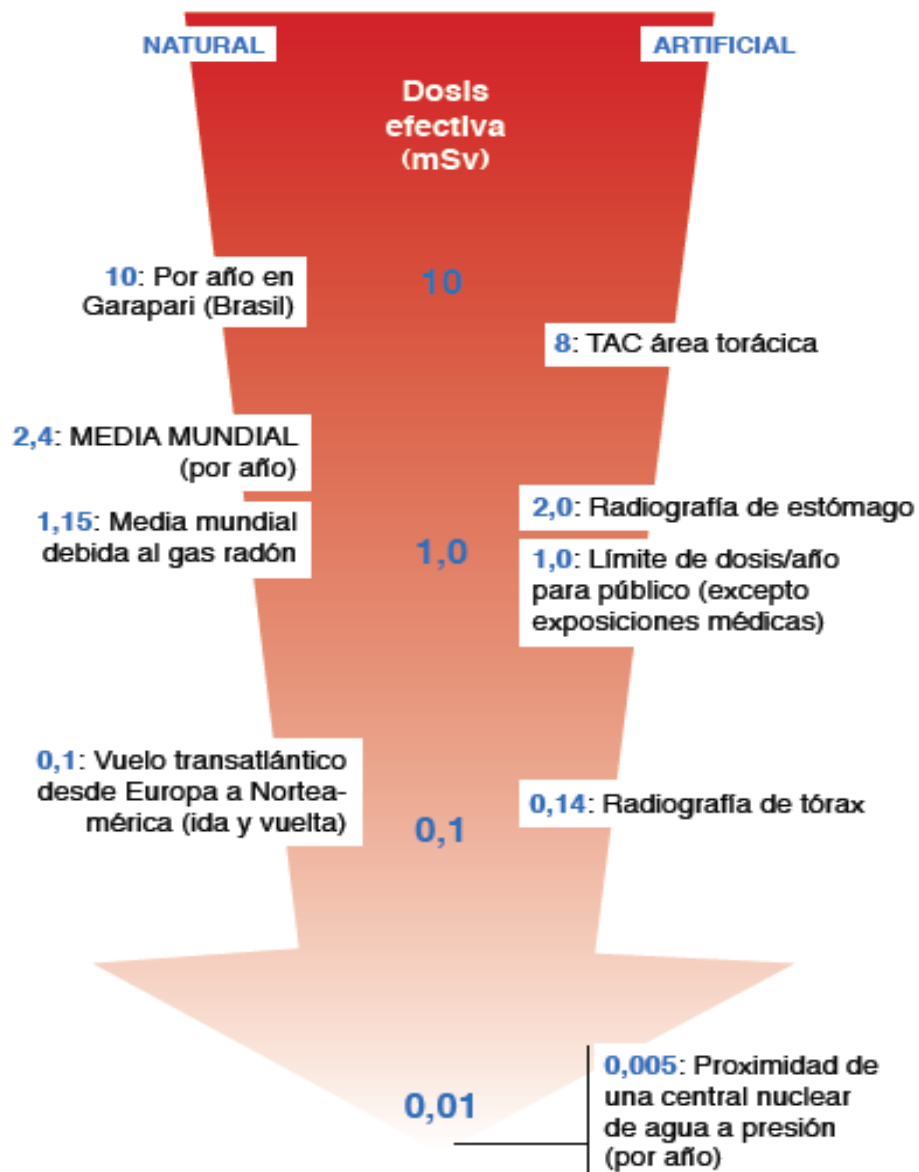
DOSIS ANUALES MEDIAS POR FUENTES NATURALES



Contribuci3n de las diferentes fuentes de radiaci3n naturales a la dosis media total anual recibida por la poblaci3n mundial (UNSCEAR, 2008)

Valores típicos de la dosis individual por fuentes naturales y artificiales

RADIACIÓN EN LA VIDA DIARIA



Fuente: UNSCEAR

- TRABAJO
- VERTIDOS, LLUVIA RADIATIVA, OTROS
- USOS MÉDICOS
- ALIMENTOS - BEBIDAS

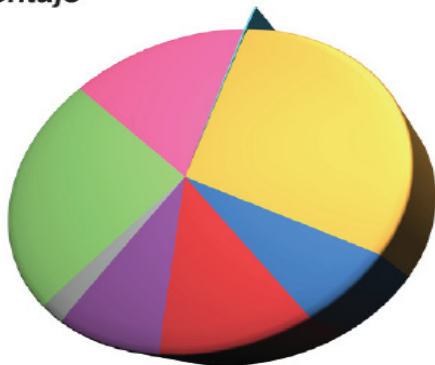
- RAYOS GAMMA
- RAYOS CÔSMICOS
- TORÓN
- RADÓN

Datos en porcentaje



0 0,3 34,9 7,8 12,9 10,5 2,7 30,9

Dosis media de una persona de la población en España (total: 3,7 mSv/año)



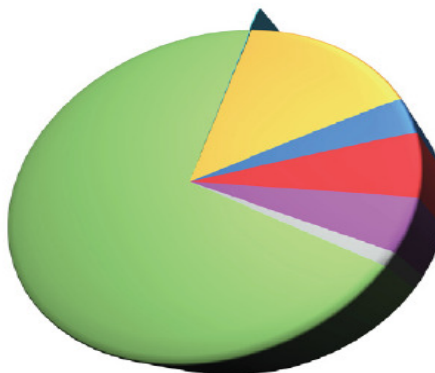
15,8 0,2 29,4 6,6 10,9 8,8 2,3 26

Dosis media de un trabajador en instalaciones radiactivas en España (total: 4,42 mSv/año)



34 0,1 22,7 5 8,4 6,8 1,7 20,1

Dosis media de un trabajador en centrales nucleares en España (total: 5,72 mSv/año)



0 0,1 15 3,4 5,7 4,6 1,2 70

Dosis media de una persona de la población en España si vive en una zona de alto contenido en radón (total: 8,4 mSv/año)

Contribución de las diferentes fuentes de radiación naturales y artificiales a la dosis media total anual recibida por la población española (CSN, 2008)

La (necesaria) Protección Radiológica

Principios y elementos

ICRP

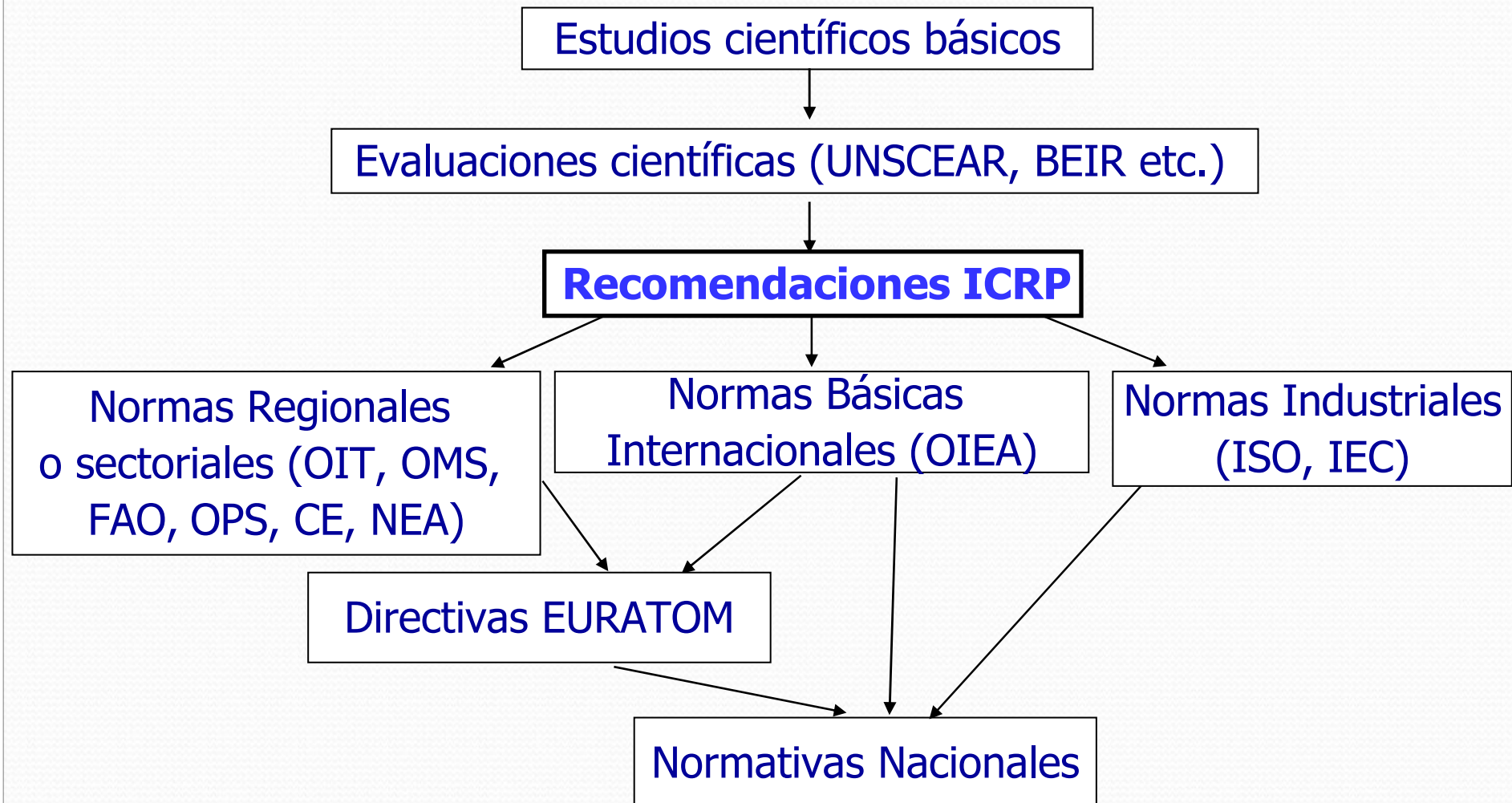
COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN
RADIOLÓGICA

ICRP

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION

- Nacida en 1928 bajo los auspicios del 2º Congreso Internacional de Radiología
- Hoy es una organización científica no gubernamental
- Tiene como fin el establecer principios y recomendaciones básicas en materia de P.R.
- Sus recomendaciones se aplican en todos los países del mundo

De la ciencia a la normativa de Protección Radiológica



PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Objetivo fundamental:

evitar la aparición de efectos deterministas sobre la salud, y limitar la probabilidad de incidencia de los efectos probabilistas (cánceres y defectos hereditarios) hasta valores que se consideran aceptables.

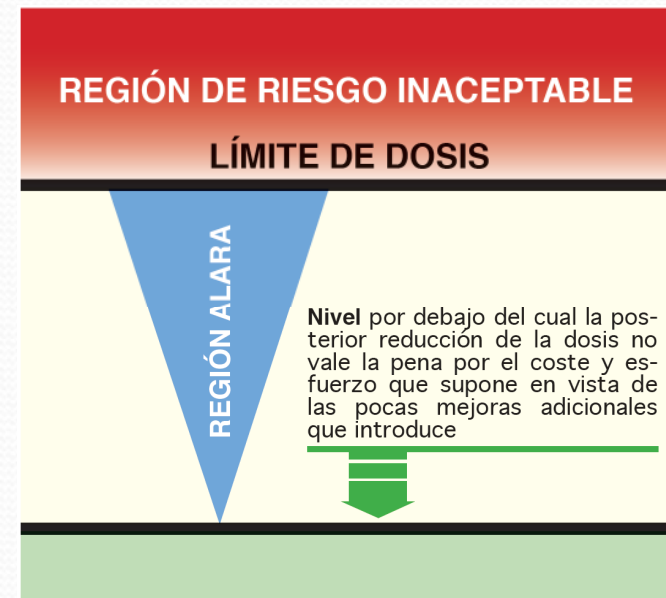
Pero, por otra parte, sin limitar indebidamente las prácticas que, dando lugar a exposición a las radiaciones, suponen un beneficio a la sociedad o sus individuos.

PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

JUSTIFICACIÓN: Beneficios > detrimentos

OPTIMIZACIÓN: Buscando el balance óptimo entre beneficios y detrimentos. Tratar de reducir las dosis a niveles tan reducidos como sea razonablemente posible de alcanzar - **ALARA** (As Low As Reasonably Achievable)

LIMITACIÓN DE LA DOSIS INDIVIDUAL
y del riesgo individual frente a exposiciones accidentales



APLICACIÓN	OCUPACIONAL	PÚBLICO
Dosis efectiva	100 mSv en un período de 5 años oficiales, no superando 50 mSv en un año	1 mSv/año oficial
Dosis equivalente anual en:		
cristalino	150 mSv	15 mSv
piel	500 mSv	50 mSv
manos y pies	500 mSv	-----

Elementos de Protección Radiológica

Detectores de radiación y dosímetros



Vigilancia y control del medio ambiente



Clasificación y señalización de zonas

Normas Básicas:

- Recomendadas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica
- Incorporadas a la legislación nacional (Reglamento Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes, R.D. 783/2001, BOE 26-Jul-2001)

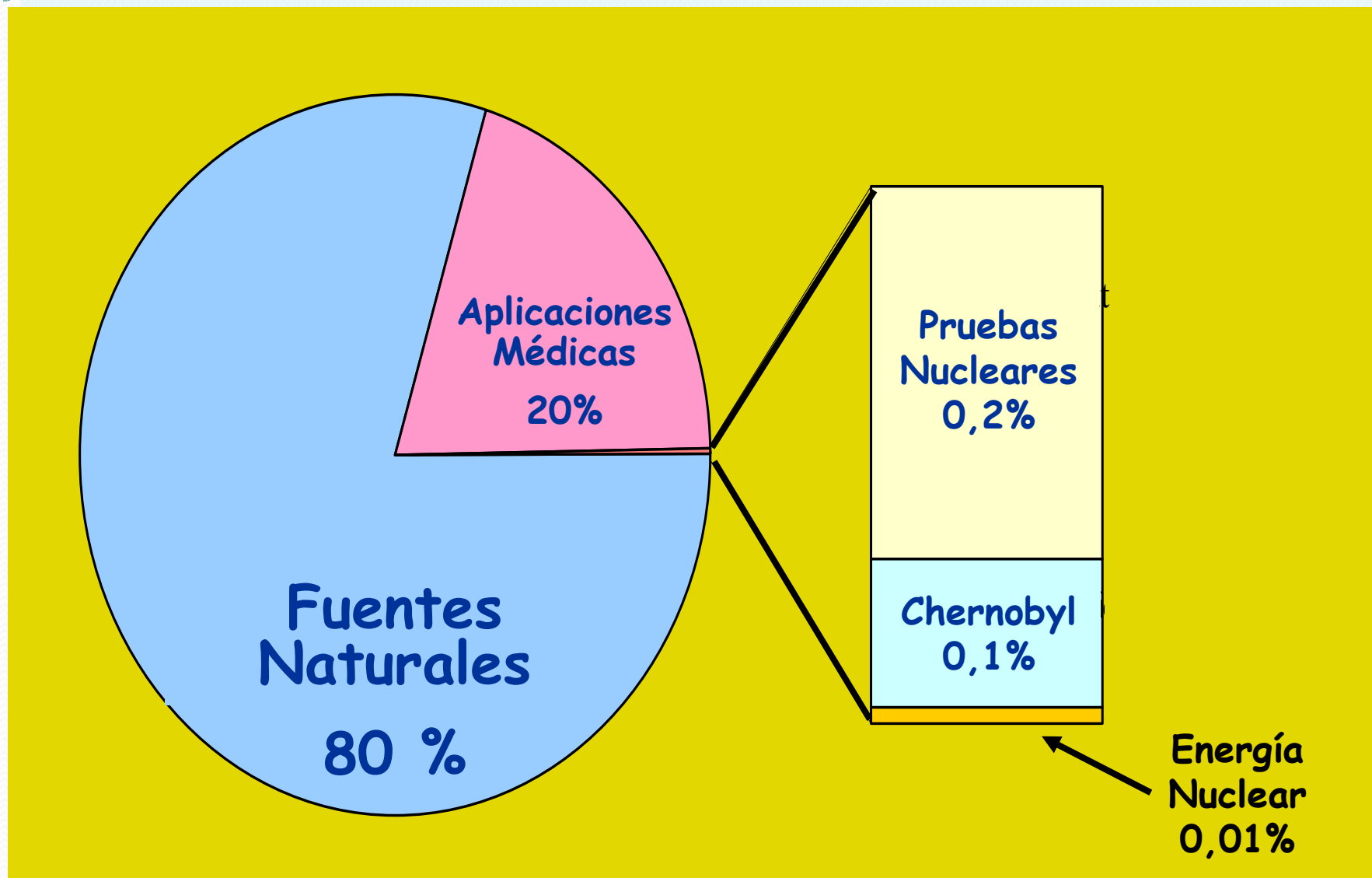
Autoridad Competente:

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Infraestructura de Seguridad y Protección Radiológica. Elementos

- **LICENCIAMIENTO** (AUTORIZACIÓN) DE TODAS LAS PRÁCTICAS QUE CONLLEVEN EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES.
- **INSPECCIÓN Y CONTROL** DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS PRACTICAS (ORGANISMO REGULADOR)
- **CONTROL DE FUENTES** Y MATERIALES RADIATIVOS
- **PROTECCIÓN** DE LOS TRABAJADORES
- **PROTECCIÓN** DE LOS PACIENTES
- **FORMACIÓN** DEL PERSONAL
- **PROTECCIÓN DEL PUBLICO** Y EL MEDIO AMBIENTE
- **GESTIÓN DE LOS RESIDUOS** RADIATIVOS

En resumen... (UNSCEAR 2008)



... y para concluir

- El entorno humano presenta niveles significativos de radiaciones ionizantes de forma natural
- El uso de las radiaciones ionizantes en distintos campos supone un moderado incremento de los niveles naturales de exposición a las mismas
- La Protección Radiológica tiene como finalidad proteger de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes, sin limitar injustificadamente sus aplicaciones y los beneficios derivados de éstas