



El núcleo y sus radiaciones

clase 11

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas - UNLP
Instituto de Física La Plata - CONICET
Calle 49 y 115 La Plata





Dosimetría y radioprotección.

Estudiaremos en estas clases sobre fuentes de radiación, tanto naturales como artificiales (antropogénicas) y la exposición a la que está expuesto el público en general y personal que trabaja en clínicas de medicina nuclear, laboratorios de investigación y centrales nucleares y que están expuestos a la radiación en su ambiente de trabajo.

El almacenamiento de materiales radioactivos, manejo de fuentes de calibración, preparación de materiales radioactivos para pacientes y phantomas o incluso la proximidad a pacientes o phantomas a los que se han administrado radiofármacos son potenciales fuentes de exposición a la radiación.

Adicionalmente se debe considerar el problema de la potencial exposición a la radiación del personal no relacionado con el manejo de la radioactividad como ser familiares de pacientes, personal de enfermería e incluso los transeúntes en los pasillos adyacentes a el laboratorio.



Dosimetría y radioprotección.

Las cantidades de material radiactivo utilizado y los niveles de radiación encontrados en un laboratorio de Medicina Nuclear en general están muy por debajo de los valores de riesgo o que pueden causar cualquier tipo de "enfermedad por radiación".
Enfermedad.

Un motivo de mayor preocupación son los efectos a largo plazo que pueden resultar de exposiciones crónicas a bajos o incluso muy bajos niveles de radiación:

- Daños genéticos a las células (mutagénesis),
- Daño a los cromosomas (clastogénesis)
- Carcinogénesis.



Dosimetría y radioprotección.

En la actualidad, la comprensión de los efectos de la exposición crónica a bajos niveles de radiación está lejos de ser completa (mejor comprendidos están los efectos de una exposición a altos niveles de radiación en cortos tiempos).

Las regulaciones referidas a protección radiológica actuales están basadas en el llamado «**modelo lineal sin umbral (LNT)**», que supone que no hay "umbral de dosis" para la aparición de los efectos a largo plazo y que el riesgo aumenta linealmente con la dosis de radiación.

Experimentos, datos y modelos de lesiones por radiación que son inconsistentes LNT.

Incluso algunos científicos argumentan que estudios sugieren que bajas dosis de radiación tienen un efecto beneficioso sobre la salud y que estimulan el sistema inmune (**hórmesis**).



Dosimetría y radioprotección.

El debate sobre las consecuencias biológicas de la exposición a bajos niveles de radiación ionizante, la relevancia de las estimaciones de dosis absorbidas en la evaluación de riesgos para la salud y el efecto en las regulaciones continuará durante las próximas décadas.

A pesar de que los riesgos para el personal expuesto a la radiación ionizante en el entorno de la Medicina Nuclear es muy bajo (dato basado en décadas de datos históricos y en el marco de buenas prácticas) el sentido común dicta que las exposiciones a la radiación en los laboratorios y centros debe mantenerse tan bajo como sea razonablemente realizable.



Dosimetría y radioprotección.

Al considerar los posibles efectos en la salud de pacientes o personal expuesto es importante poner en foco la dosis recibida en relación al fondo generado por las fuentes naturales de radiación.

Estas fuentes incluyen:

Radionúclidos naturales (por ejemplo, ^{40}K)

Radiación cósmica,

Radionucleidos naturales en el ambiente.

Dosis efectivas a individuos por estas fuentes naturales son en promedio del orden de 2.4 mSv/año (olvidemos por un momento las unidades, ya las veremos). Rango típico: 1-13 mSv/año.

Inyección de 250 MBq de ^{18}F -fluorodeoxiglucosa: dosis efectiva del orden de 5.8 mSv/año (dosis que se recibiría en aproximadamente 1,7 años de fondo).

Dosis media efectiva extrema para el personal técnico en Medicina Nuclear: en el orden de 4 mSv/año.



Dosimetría y radioprotección.

- ❖ Encontrar una relación entre la radiación y sus efectos.
- ❖ Establecer la acción de la radiación a partir de su capacidad de generar pares iónicos en los átomos y moléculas del material que penetra..
- ❖ Enunciar normas de radioprotección.



Dosimetría y radioprotección.

Unidades. Definiciones

Actividad (A): número medio de desintegraciones por unidad de tiempo que experimenta una muestra radiactiva (Curie, Becquerel).

Unidad

Curie (Ci): $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones/segundo.

Sistema Internacional Becquerel: 1 desintegración/segundo.



Dosimetría y radioprotección.

Comentario.

Suecia acepta que los alimentos tengan hasta 300 bq/kg.

Pollos importados a fines de los 80's por Argentina tenían 4 bq/kg (Mazzorín, estaban podridos).

El agua contiene Rn disuelto (emisor α). Una ducha de 8 minutos "genera" unos 3500 bq.

Una casa cerrada acumula hasta 60000 bq al día en Rn.



Dosimetría y radioprotección.

Cantidad de ionizaciones. Exposición.

La radiación interactúa con la materia por ionización y excitación de átomos y moléculas. Determinar la cantidad de ionizaciones producidas por una radiación es una medida de la misma.

Exposición (X): cantidad de ionizaciones producidas por una radiación (dQ) en un volumen de aire (dm) (Coulomb/kg, Roentgen).

$$X(R) = dQ/dm$$

La unidad es el Roentgen. Se define como:

1 Roentgen (R): cantidad de rayos X que producen una ionización de $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg en aire.

O 2×10^9 ionizaciones/cc de aire seco.



Dosimetría y radioprotección.

Kerma en aire.

Para poder escribir en forma mas sencilla las unidades de X en el S.I. se ha definido la magnitud kerma en aire.

La exposición se basa en la cantidad de ionizaciones producidas por una radiación en aire.

Kerma es la energía cinética depositada en aire por la radiación.

Más precisamente: **kerma en aire es la suma de la energía cinética de todas las partículas cargadas producidas por interacciones de rayos x o rayos γ (por dispersión Compton, fotoeléctrica o producción en pares) por kg de aire.**

Unidades: **Gray, Gy (J/kg)**



Dosimetría y radioprotección.

Kerma en aire.

Asumiendo que toda la energía transferida por los fotones a las partículas cargadas se deposita localmente (i.e., se desprecia el bremsstrahlung, lo cual es muy razonable para el aire) y considerando que la energía para formar un par ion-electrón en aire es 33.7 eV:

$$K(\text{Gy}) \approx X(\text{C/kg}) \times 33.7$$

$$K(\text{Gy}) \approx X(\text{R}) \times 0.00869$$

Exposición y kerma son magnitudes útiles ya que se pueden medir usando cámaras de ionización o detectores Geiger-Müller.



Dosimetría y radioprotección.

Una cantidad más relevante que la exposición para discutir los efectos de la irradiación es la *dosis absorbida*.

Mide la energía depositada por la radiación incidente por unidad de masa.
Es un parámetro fundamental en radioprotección.

Dosis absorbida (D): energía absorbida por unidad de masa.

Unidad (Sistema Internacional) **Gray (Gy) = 1 J/kg**

Unidad más antigua **rad = 0,01 Gy.**



Dosimetría y radioprotección.

Si el kerma en aire (en Gy) es conocido en un cierto punto, la dosis absorbida en Gy que sería «entregada» una persona en ese lugar puede estimarse mediante un factor de escala, f .

f se define:

$$f = D_{\text{med}}/D_{\text{air}} \approx D_{\text{med}}/K$$

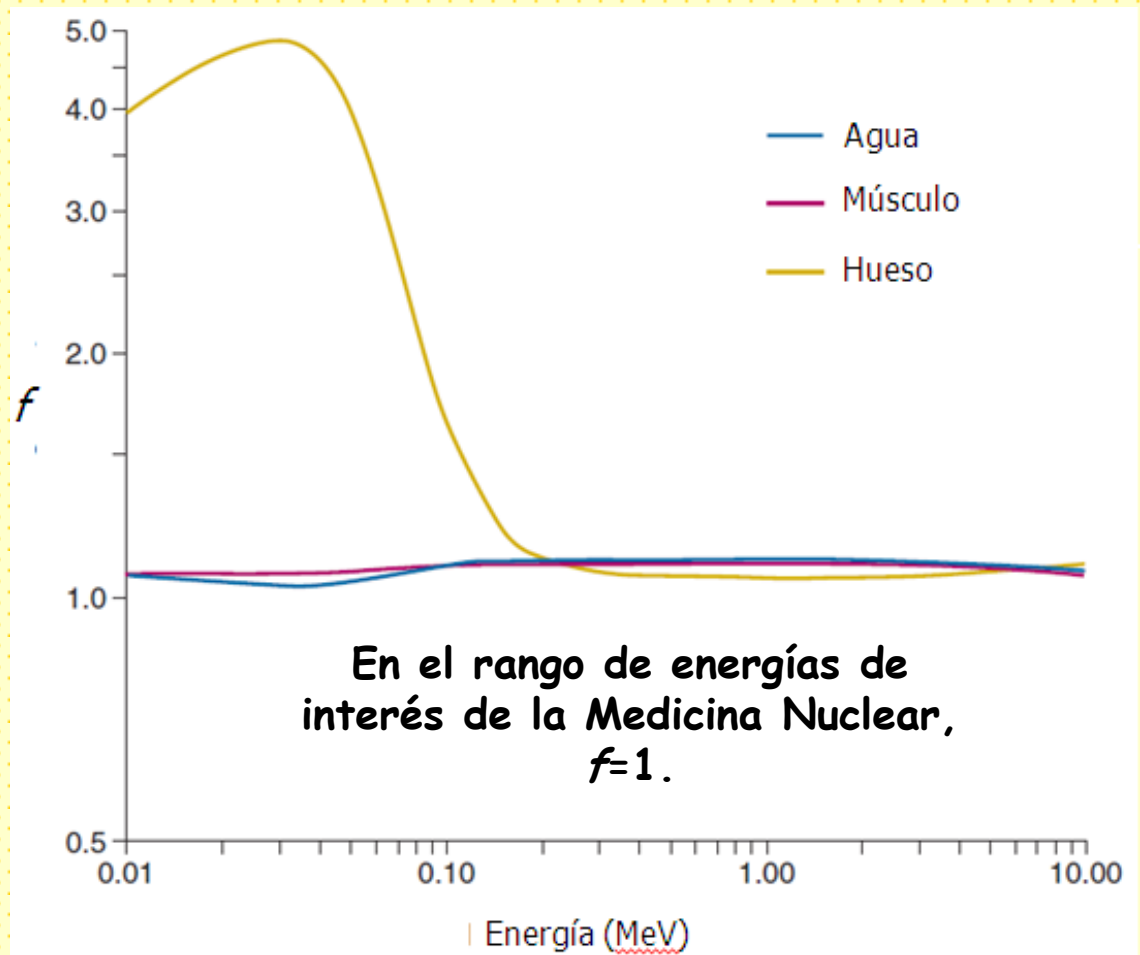
D_{med} : dosis absorbida en el medio de interés

D_{air} : dosis en aire:

f depende del medio material donde se absorbe la radiación y de la energía de la misma.

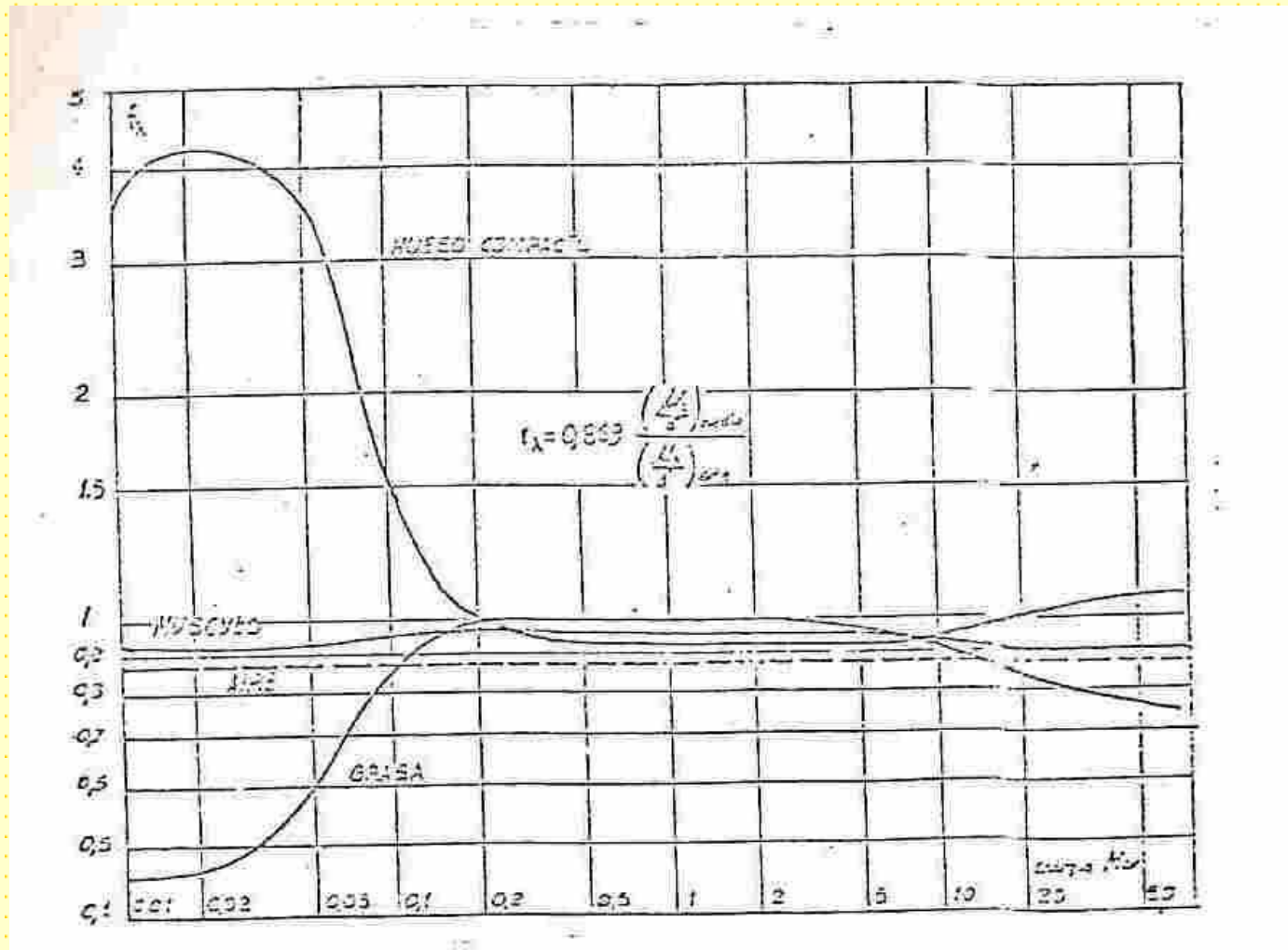
Dosimetría y radioprotección.

$$D = fK$$

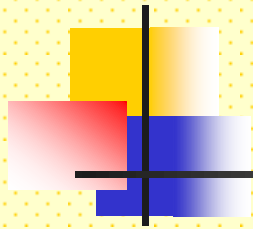


Dosimetría y radioprotección.

$$D = fK$$



Dosimetría y radioprotección.



Tase de kerma en aire: Ionizaciones (o energía depositada) producidas por una radiación por unidad de tiempo

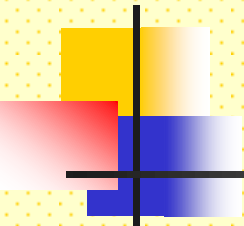
Γ es una constante que tiene un valor específico para cada nucleido y se define como:

$$KR = \frac{\Gamma A}{d^2}$$

Kerma en aire (en mGy/h) causado por rayos γ y x por hora a una distancia de 1 m de una fuente no blindada y puntual de un radionucleido de actividad 1 GBq.

Las unidades de Γ son entonces: $\text{mGy}\cdot\text{m}^2/\text{Gbq}\cdot\text{h}$

Dosimetría y radioprotección.



Radionuclide	Γ (mGy · m ² /GBq · hr)	Radionuclide	Γ (mGy · m ² /GBq · hr)
¹¹ C	0.1393	^{99m} Tc	0.0141
¹³ N	0.1394	¹¹¹ In	0.0831
¹⁵ O	0.1395	¹²³ I	0.0361
¹⁸ F	0.1351	¹²⁵ I	0.0377
⁵⁷ Co	0.0141	¹³¹ I	0.0522
⁶⁰ Co	0.3090	¹³³ Xe	0.0143
⁶⁷ Ga	0.0195	¹³⁷ Cs/ ¹³⁷ Ba	0.0821
⁶⁸ Ga	0.1290	²⁰¹ Tl	0.0102
⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc (at equilibrium)	0.0336		

Ninkovic M. M, Raicevic J. J, Adrovic F, *Radiat Prot Dos* 115:247-250, 2005.

Para fines prácticos en Medicina Nuclear, el cálculo de Γ sólo debe incluir rayos γ y x por encima de un cierto valor mínimo de energía (los fotones de menor energía tienen bajo poder de penetración, por lo cual no atraviesan las paredes de una jeringa o vial y por lo tanto presentan un riesgo externo insignificante). En este caso, la energía mínimo fue 20keV.



Dosimetría y radioprotección.

No tiene en cuenta:

Tasa de irradiación.

Tipo de radiación.

A partir de experimentos biológicos se determinó que el daño producido por una radiación no sólo depende de la energía de la misma, sino también del tipo de radiación incidente.

Debe tenerse en cuenta también, por ejemplo, la densidad de ionización en la trayectoria de la radiación.

Dosimetría y radioprotección.

Dosis equivalente: Dosis efectiva según el tipo de partícula. *factor de peso (o de calidad)* w_r . w_r , que da cuenta de la efectividad biológica relativa.

$$H_t = w_r \cdot D$$

Si hay diferentes radiaciones involucradas →

$$H_t = \sum_i w_{r,i} D_i$$

Tipo de radiación y energía	w_r
Fotones	1
Electrones y muones	1
Neutrones, $E < 10$ keV	5
Neutrones, 10-100 keV	10
Neutrones, 100 keV - 2000 MeV	20
protones	5
α , fragmentos de de fisión, núcleos pesados.	20

Unidad (Sistema Internacional)
Sievert (Sv) = 1 J/kg

Unidad más antigua
rem = 0,01 Sv.



Dosimetría y radioprotección.

Dosis efectiva equivalente (E):

- ❖ La probabilidad de sufrir un *daño biológico* por irradiación (cáncer, anomalía genética) depende del órgano específico que recibe la irradiación.
- ❖ Se define un factor de peso para cada tejido (w_T). Estos factores son independientes del tipo y energía de la radiación incidente.

$$E = \sum_t w_t \cdot H_t$$

Dosimetría y radioprotección.

Tejido	w_T
Gónadas	0,20
Hueso (médula)	0,12
Colon	0,12
Pulmones	0,12
Estómago	0,12
Vejiga	0,05
Senos	0,05
Hígado	0,05
Esófago	0,05
Tiroides	0,05
Piel	0,01
Hueso (superficie)	0,01
resto	0,05



Dosimetría y radioprotección.

Algunos números.

Un trabajador controlado puede recibir una dosis efectiva máxima de 0,05 Sv/año.

La población en general puede recibir una dosis efectiva máxima de 0,005 Sv/año.

La comida sueca es legal si ingiriéndola a lo largo de un año se acumula 5×10^{-3} Sv/año.

Una seriada de radiografías implica 0,02 Sv/año.

La radiación de fondo es del orden de 0,002 Sv/año

(En algunas playas de Brasil llega a 0,157 Sv/año!!!!) .

Dosimetría y radioprotección.

Ocupacional

Límite anual

Dosis equivalente efectiva total: **2 rem/año** (20 mSv/año, promedio de 5 años).

No se pueden exceder los **50 mSv/ año**

Cristalino **15 rems (150 mSv)**

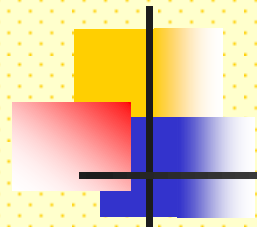
Piel y extremidades **50 rems (500 mSv)**

Miembros del público

10% de la correspondiente a trabajadores adultos

Dosis equivalente efectiva total: **0.1 rems (1 mSv) por año por encima del fondo.**

Dosimetría y radioprotección.



Magnitud	unidad/SI	simbol o	definición	conversión
Actividad A	Curie Bequerel	Ci Bq	$3,7 \times 10^{10}$ dps 1 dps	1Ci= $3,7 \times 10^{10}$ Bq 1Bq= $2,7 \times 10^{-11}$ Ci
Exposición $X(R)$	Roentgen Carga/masa aire	R C/kg	$2,58 \times 10^{-4}$ C/kg 1 C/kg aire	1 R= $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg 1 C/kg= 3,876 R
<u>Kerma</u> K	Energía/masa Gray	rad Gy	100 erg/g 1 J/kg	1 rad=0,01 Gy 1Gy=100 rad
Dosis Absorbida $D = fK$	Energía/masa Gray	rad Gy	100 erg/g 1 J/kg	1 rad=0,01 Gy 1Gy=100 rad
Dosis equivalente $H_t = w_r \cdot D$	rad equivalente hombre Sievert	rem Sv	D. abs (w_r) = 0,01 J(w_r)/kg 1J(w_r)/kg	1 rem=0,01Sv 1Sv=100 rem
D. efectiva equivalente $E = \sum_i w_t \cdot H_t$	rad equivalente hombre Sievert	rem Sv	D. abs (w_r)(w_t)=0,01 J(w_r)(w_t)/kg 1J(w_r)(w_t)/kg	1 rem=0,01Sv 1Sv=100 rem

w_r =factor de calidad, w_t =factor de peso por organo



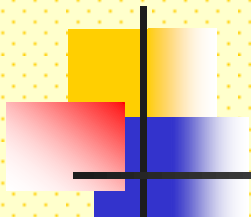
Fuentes de exposición.

Desde sus orígenes el ser humano se desarrolló en un planeta radioactivo, sujeto a la radioactividad llamada **fondo**.

Natural (Naturally Occurring Radioactive Materials, NORM)

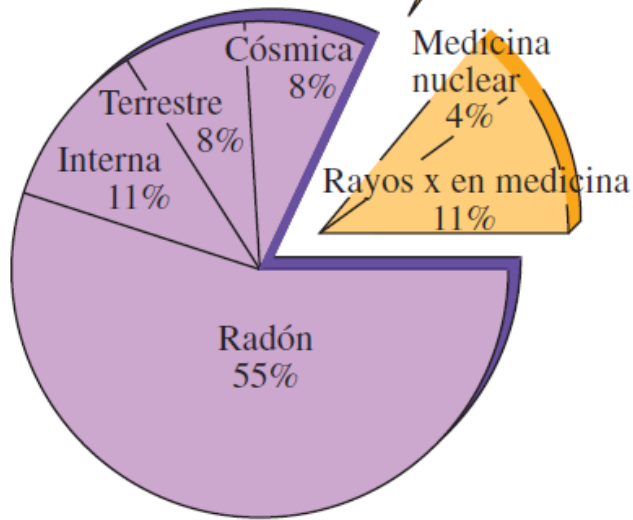
Radiación Cósmica
Nucleidos Cosmogénicos
Nucleidos Primordiales

Fuentes de exposición.



Por actividad humana 18%

Otros	<1%
Ocupacional	0.3%
Precipitación	<0.3%
Ciclo de combustibles nucleares	0.1%
Diversos	0.1%



Natural 82%

Contribución de las diversas fuentes al total de exposición promedio a la radiación, de la población de Estados Unidos.

<i>fuentes de radiación</i>	<i>dosis (μSv)</i>	<i>promedio mundial (μSv)</i>
rayos cósmicos	400-1000	400
radiación γ terrestre	300-600	500
ingestión (⁴⁰ K)	200-800	1200
inhalación (²²² Rn)	200-10000	300
total	1000-10000	2400



Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

Galáctica:

- ❖ Producida fuera del sistema solar debido probablemente a llamaradas estelares, explosiones de supernovas, etc.
- ❖ Consiste de una lluvia continua de partículas energéticas (10^6 y 10^{20} eV), 87% de protones, 12 % de α y un 1 % de iones pesados.

Solar:

Viento solar

- ❖ Flujo continuo de iones y electrones de baja energía (1 keV) que es deflectado por el campo magnético terrestre y absorbido por la atmósfera.
- ❖ No produce reacciones nucleares.

Llamaradas solares

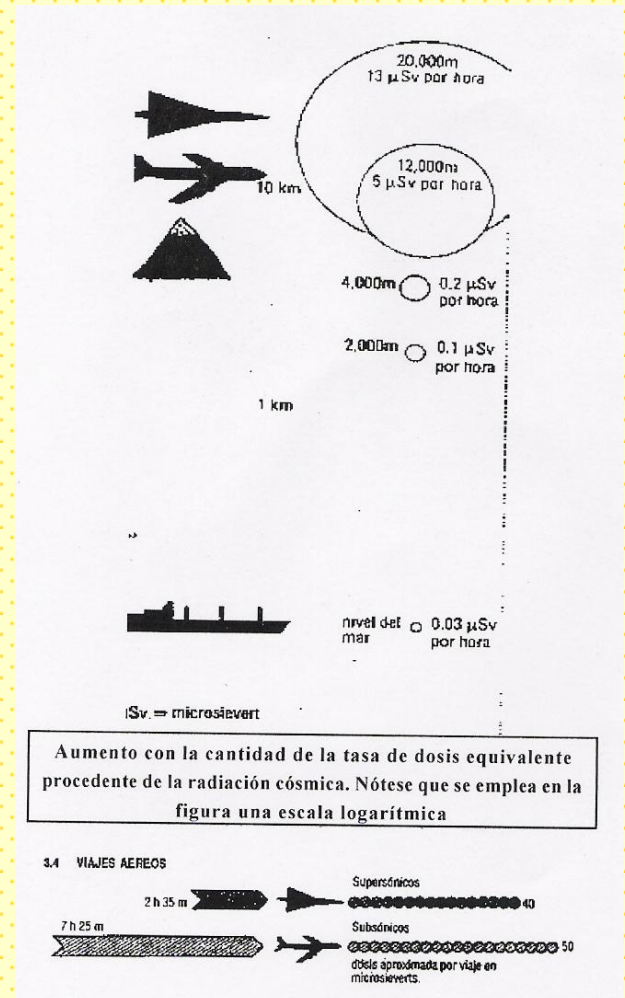
- ❖ Se liberan partículas energéticas (100 MeV) tales como protones (98%), α y núcleos más pesados.

Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

La exposición a la radiación de los rayos cósmicos y la radiactividad natural del suelo, materiales de construcción, etc. es del orden de **2 a 3 mSv/año** a nivel del mar, y el doble a una altura de 1500 m.

❖ Taza de dosis respecto al nivel del mar

$$H(z) = H(0)[0,21e^{-1,649z} + 0,79 e^{0,4528z}]$$



Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

Las partículas energéticas que penetran en la atmósfera producen reacciones nucleares con los núcleos de las moléculas de aire → nucleídos + electrones, protones, rayos gamma, etc.

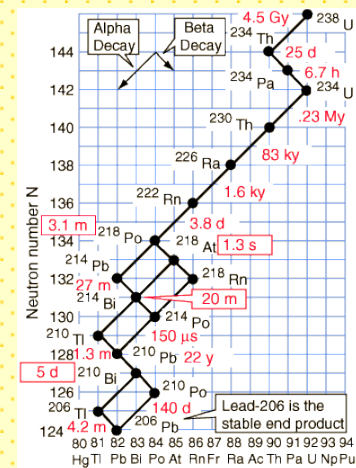
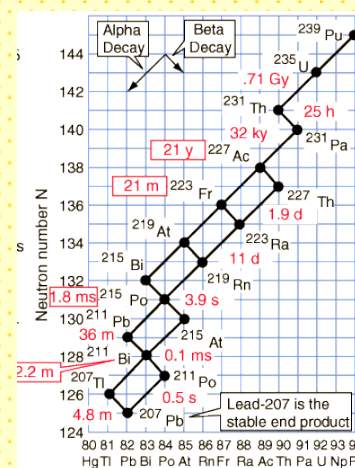
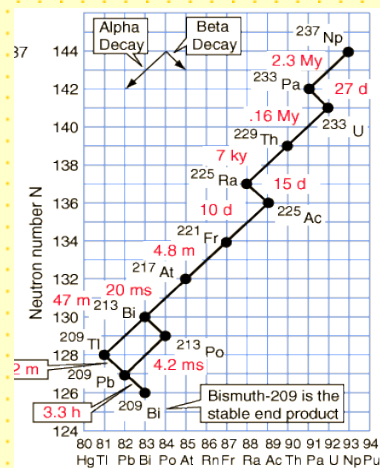
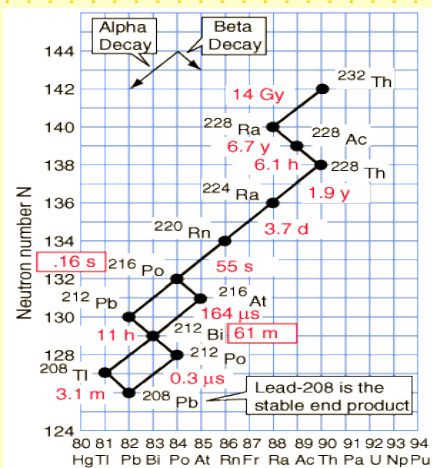
<i>Nucleido</i>	<i>Producción (átomos m⁻² s⁻¹)</i>	<i>Inventario Global (PBq)</i>	<i>Concentración en la troposfera (mBq m⁻³)</i>
³H	2 500	1 275	1,4
⁷Be	810	413	12,5
¹⁰Be	450	230	0,15
¹⁴C	25 000	12 750	56,3
²²Na	0,86	0,44	0,0021
²⁶Al	1,4	0,71	1,5 x 10 ⁻⁸
³²Si	1,6	0,82	0,000025
³²P	8,1	4,1	0,27
³³P	6,8	3,5	0,15
³²S	14	7,1	0,16
³⁶Cl	11	5,6	9,3 x 10 ⁻⁸
³⁷Ar	8,3	4,2	0,43
³⁹Ar	56	28,6	6,5
⁸¹Kr	0,01	0,005	0,0012

Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

Nucleidos Primordiales

- ❖ Los elementos radioactivos existían **antes de la aparición de la vida**
- ❖ La radioactividad intervino en el "big-bang" → **68 elementos radioactivos**

40K, 50V, 87Rb, 113Cd, 115In, 123, 128, 130Te, 138La, 142Ce, 144Nd, 147Sm, 152Gd, 174Hf, 176Lu, 187Re, 190, 192Pt, 209Bi + las cadenas del 232Th, 235U y 238U



Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

País	Concentración en suelos (Bq kg ⁻¹)			
	⁴⁰ K	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th
	Rango	Rango	Rango	Rango
África	29 – 1150	2 – 120	5 – 180	2 – 140
América del Norte	6 – 700	4 – 140	8 – 160	1 – 130
América del Sur (Argentina)	540 – 750	—	—	—
Asia Oriental	7 – 1500	2 – 690	2 – 440	1 – 220
Asia Occidental	87 – 980	10 – 78	8 – 77	5 – 60
Europa del Norte	140 – 1150	3 – 30	6 – 310	5 – 59
Europa Oriental	0 – 3200	2 – 330	5 – 900	1 – 180
Europa Occidental	40 – 1400	0 – 190	1 – 210	2 – 160
Europa del Sur	0 – 1650	1 – 240	0 – 250	2 – 210
Medias	94.3 – 1386,6	3 – 227,3	4,4 – 315,9	2,4 – 144,9



Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

¿Qué sucede en los jardines de las casas?

Supongamos un jardín de 400m^2 al que se le retira toda la tierra hasta un metro de profundidad

En este volumen de tierra encontraremos:

800 gramos de ^{40}K , que es radioactivo

- **6 kg de Torio** radiactivo y los elementos asociados a su decaimiento
- Alrededor de **2 kg** de Uranio

Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

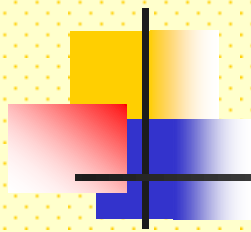
¿Y en el aire?

Table 14
Concentrations of uranium and thorium series radionuclides in air

Region / country	Concentration ($\mu\text{Bq m}^{-3}$)								
	^{238}U	^{230}Th	^{226}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{232}Th	^{228}Ra	^{228}Th	^{235}U
North America United States	0.9-5	0.6	0.6	100-1 000	10-40	0.4		1.0	0.04
Europe Germany	0.3-1.7	0.3-1.7	1.2-3.3	28-2 250	12-80	0.2-0.9	<0.3-1.5		
Netherlands				410					
Norway	0.02-0.06	0.02-0.07				0.01-0.07			
Poland	1-18		0.8-32	<40-710					
Switzerland				200-2 000					
Reference value	1	0.5	1 (0.5) ^a	500	50	0.5 (1) ^a	1	1	0.05

^a Revised value; previous value [U3] in parentheses.

Fuentes de exposición. Fuentes naturales.



Radiación en el hogar. El radón

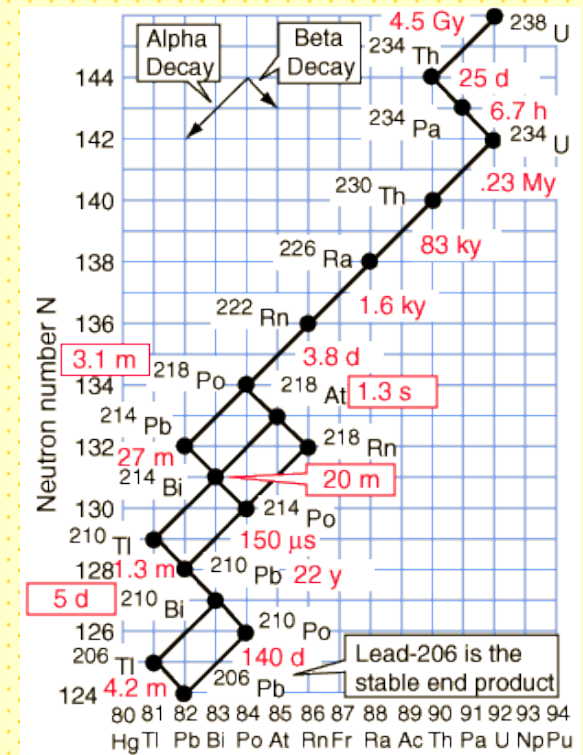
Un riesgo serio para la salud en algunas áreas es la acumulación del ^{222}Rn en las casas.

Radón: Gas inerte, incoloro, inodoro y radiactivo.

Origen: cadena de desintegración del ^{238}U

Vida media: 3.82 días.

Se produce en forma continua por el decaimiento del ^{226}Ra , que existe en cantidades mínimas en las rocas y el suelo sobre los que se construyen las casas. Es un caso de equilibrio dinámico, donde la cantidad de producción es igual a la cantidad de decaimiento.



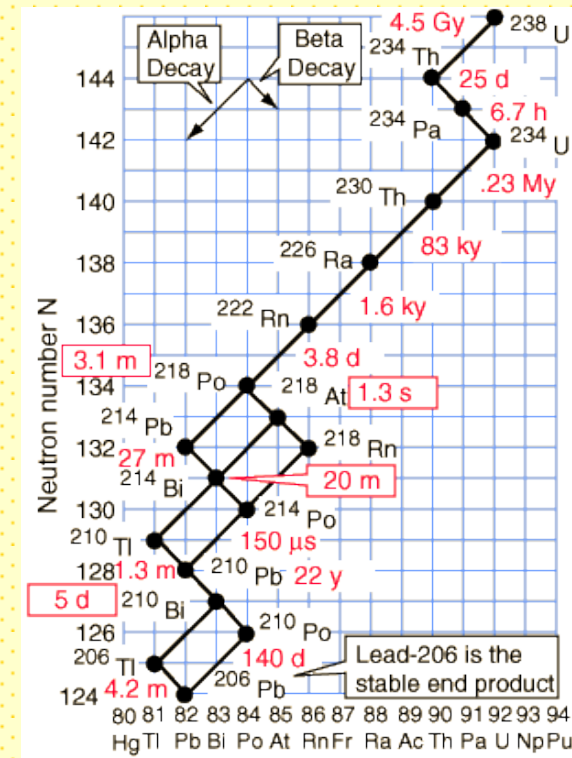
Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

La razón por la que el ^{222}Rn constituye un mayor riesgo que los demás elementos de la serie de desintegración del ^{238}U es que es un **gas**.

Vida media de 3.82 días, puede migrar del suelo y penetrar en los hogares, y si esta se encuentra bien aislada se acumula.

El ^{222}Rn se desintegra emitiendo una partícula α . Este decaimiento se puede producir en los pulmones.

El núcleo hijo es el ^{218}Po , que no es químicamente inerte y probablemente permanezca en sus pulmones hasta que se desintegre, emite otra partícula α , recorriendo la serie radioactiva del ^{238}U .





Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

¿Qué tan peligroso es el radón?

Aunque los informes indican valores hasta de **3500 pCi/L**, la actividad promedio por unidad de volumen en el interior de los hogares estadounidenses debida al ^{222}Rn , es **1.5 pCi/L** (más de mil decaimientos cada segundo, en una habitación de tamaño mediano).

Se ha estimado que si el ambiente que rodea a una persona tiene este nivel de actividad, una exposición durante toda la vida reduciría su expectativa de vida en unos 40 días.

Para comparar:

Fumar un paquete de cigarrillos al día reduce la expectativa de vida de 6 años.

Se estima que la emisión promedio de todas las plantas nucleares en el mundo reduce la expectativa de vida entre 0.01 y 5 días. Estas cifras incluyen las catástrofes como el desastre del reactor nuclear de Chernobyl en 1986, para el cual el efecto local sobre la expectativa de vida es mucho mayor.

Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

Transferencia a la cadena alimenticia y al hombre



Sistema respiratorio → inhalación.
Tubo digestivo → ingestión.
Piel intacta → absorción percutánea.
Heridas y cavidades.
Punción → inyección, instilación.

Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

Tabla 4.5: Concentración (mBq/kg) los nucleídos de las series del U y Th en alimentos y agua de bebida.

<i>región</i>	²³⁸ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th	²²⁸ Ra	²²⁸ Th	²³⁵ U
<i>productos lácteos</i>									
América del Norte	0,7	0,4	5,7	11		0,27			0,05
Asia	0,55 - 17		6 - 12	16	13 - 15	0,29 - 1,2	1		0,6
Europa	0,1 - 4,9	1,2	0,4 - 200	5 - 280	2 - 220	1,2		56	
<i>carnes</i>									
América del Norte	0,8 - 2,3	0,5 - 3	20	18		0,3 - 2			0,02
Asia	10 - 13		36 - 41	140	120 - 440	2,3 - 4,3	20		0,5
Europa	1 - 20	0,3 - 3	2 - 220	15 - 3700	37 - 67000	0,5 - 3,6		22-93	
<i>granos</i>									
América del Norte	3 - 23	0,9 - 10	7 - 100	33 - 81		0,1 - 2,8			0,1 - 1,3
Asia	1,2 - 9,8		14 - 17	34	15 - 120	1,2 - 13	8		0,5
Europa	4,7 - 400	1,4 - 17	0,7 - 5200	40 - 4000	20 - 1900	1,6 - 33		180 - 2300	
<i>vegetales de hoja</i>									
América del Norte	24	20	56	41		18			1,2
Asia	16 - 72		75	360	320 - 430	23	220		0,7
Europa	6 - 2200	6 - 380	2,2 - 1150	4 - 4100	4 - 7400	4 - 7			
<i>vegetales de raíz y frutas</i>									
América del Norte	0,9 - 7,7	0,2 - 1,1	7 - 47	8 - 150		0,08 - 1,4			0,1
Asia	0,4 - 77		11 - 63	27	16 - 140	2,3 - 4,7	10		0,6
Europa	0,9 - 2900	0,7 - 7,5	5 - 9400	18 - 4900	12 - 5200	0,4 - 7,1		22	
<i>pescados</i>									
América del Norte	13 - 1900	1,2 - 29	30 - 59	14 - 1800	150 - 55000	1,2 - 30			0,4 - 90
Asia	12		39	3500	4900	1,3	20		0,5
Europa	2,5		8,5 - 7400	20 - 4800	50 - 120000			56 - 700	
<i>agua de bebida</i>									
América del Norte	0,3 - 77	0,1	0,4 - 1,8	0,1 - 1,5		0,05	0 - 0,5		0,04
Asia	0,1 - 700		0,2 - 120			0,04 - 12			

Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

Un litro de agua tiene una **actividad natural** aproximada de **60 Bq**

Actividad de ^{210}Po incorporada en diferentes alimentos

Alimento	mBq/kg
Calamar	1790
Merluza	547
Yerba Mate (litro)	250
Tomate	35
Espinaca	32
Café (litro)	27
Té (litro)	27
Coliflor	22
Papa	16
Arroz	11

Alimento	^{40}K (Bq/kg)	^{226}Ra (Bq/kg)
Banana	130	0,04
Zanahoria	125	0,02 – 0,07
Papa	125	0,04 – 0,09
Cerveza	14	
Carne roja	210	0,02

Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

El cuerpo humano

Actividad promedio en el cuerpo humano (70 kg) originada por el decaimiento de nucleídos naturales.

<i>nucleído</i>	<i>actividad (Bq)</i>	<i>masa</i>	<i>ingesta diaria</i>
^{238}U	1,1	90 μg	1,9 μg
^{232}Th	0,11	30 μg	3 μg
^{40}K	4,4	17 mg	390 μg
^{226}Ra	1,1	31pg	2,3 pg
^{14}C	3,7	22 ng	1,8 ng
^3H	23	0,06 pg	0,003 pg

Somos una **fente radioactiva** con una actividad de unas **8.000 desintegraciones por segundo (8.000 Bq)**

Fuentes de exposición. Fuentes naturales.

Table 19
Uranium and thorium series radionuclides in human tissues

Region / country	Concentration (mBq kg ⁻¹)					Ref.
	Lung	Liver	Kidney	Muscle and other tissues	Bone ^a	
²³⁸ U						
Africa Nigeria					340	[F9]
North America Canada United States	6.2-15	1.5-4.1	4.8-12		120 11-52	[F9] [F8, S44]
South America Brazil					130-150	[F9]
East Asia China India Japan Nepal	21	3.0	27 4.2	5.3	410 (94-2 600) 140 17-59 110	[L1] [G13] [I17] [F10]
Europe Austria United Kingdom Yugoslavia		3.1	62	2.4	10 150 2.7	[H20] [H15] [P14]
Russian Federation	67-84	72-140	66-68	81-95	74-120	[D7, F10, M31]
Oceania Australia					23	[F10]
Median value Range	21 (6-84)	3 (2-140)	27 (4-68)	5 (2-95)	100 (3-410)	
Reference value	20 (15) ^b	3	30 (5)	5 (2)	100 (50)	

Table 31
Average worldwide exposure to natural radiation sources

<i>Source of exposure</i>	<i>Annual effective dose (mSv)</i>	
	<i>Average</i>	<i>Typical range</i>
Cosmic radiation		
Directly ionizing and photon component	0.28 (0.30) ^a	
Neutron component	0.10 (0.08)	
Cosmogenic radionuclides	0.01 (0.01)	
Total cosmic and cosmogenic	0.39	0.3-1.0 ^b
External terrestrial radiation		
Outdoors	0.07 (0.07)	
Indoors	0.41 (0.39)	
Total external terrestrial radiation	0.48	0.3-0.6 ^c
Inhalation exposure		
Uranium and thorium series	0.006 (0.01)	
Radon (²²² Rn)	1.15 (1.2)	
Thoron (²²⁰ Rn)	0.10 (0.07)	
Total inhalation exposure	1.26	0.2-10 ^d
Ingestion exposure		
⁴⁰ K	0.17 (0.17)	
Uranium and thorium series	0.12 (0.06)	
Total ingestion exposure	0.29	0.2-0.8 ^e
Total	2.4	1-10



Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

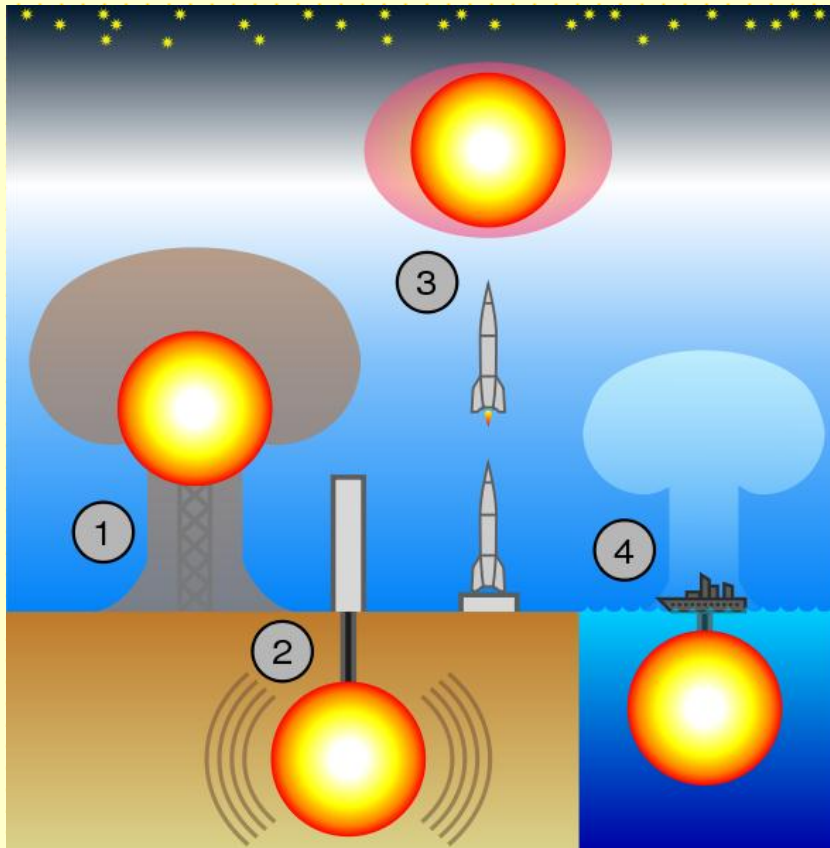
❖ hace **un siglo** que la humanidad descubrió la radioactividad. Beneficios + problemas.

la utilización de los materiales radioactivos ha generado
una contribución adicional al fondo al que se ve sometido el hombre

- Producción y ensayo de armas nucleares
- Accidentes nucleares o radiológicos
- Instalaciones nucleares
- Almacenamiento impropio de basura nuclear
- Manufactura industrial en la que intervienen materiales radioactivos (TENORM)
- Minería y tratamiento de minerales que aumentan las concentraciones de materiales radioactivos (TENORM)
- Exploraciones radiológicas con fines médicos

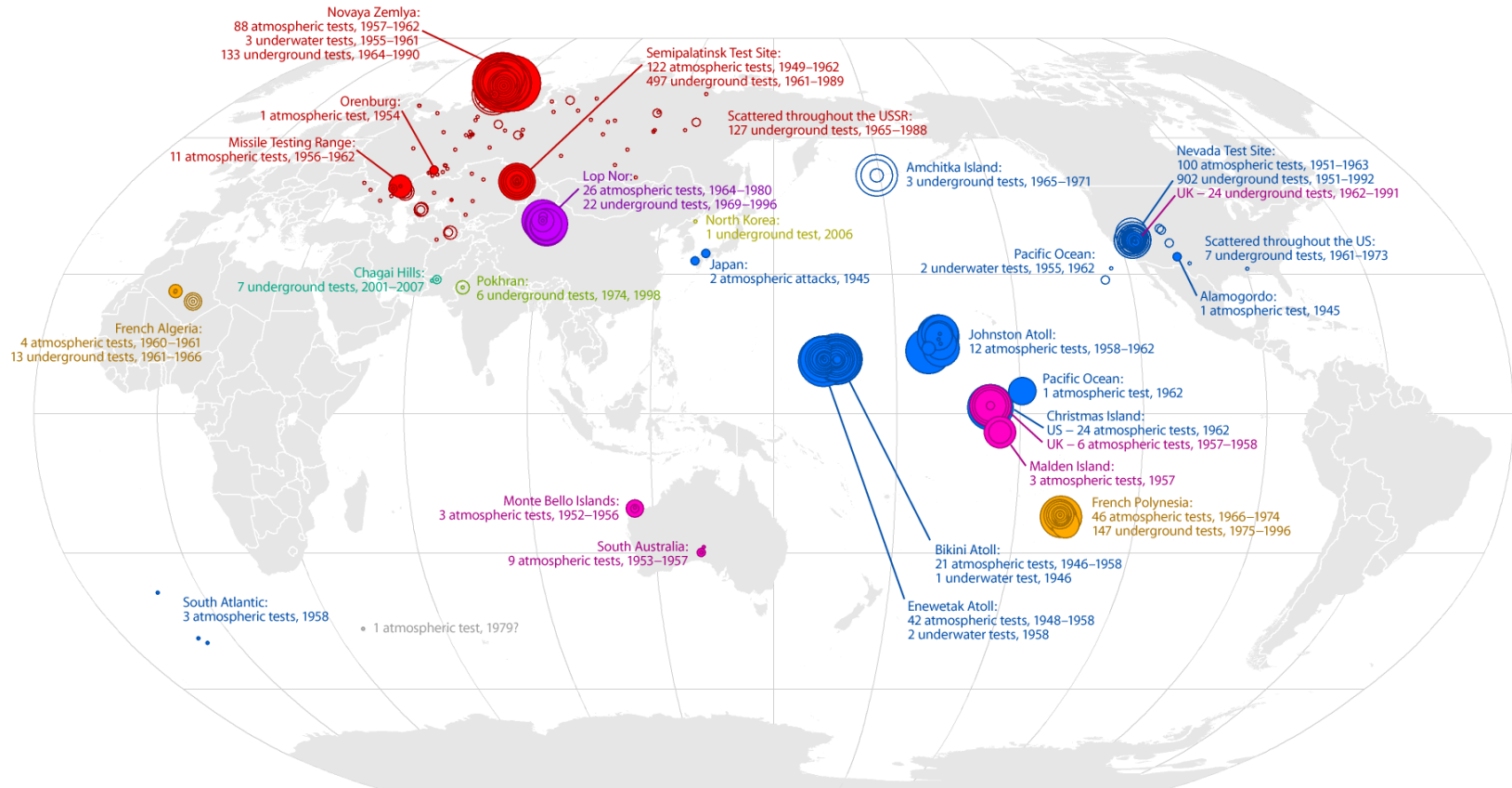
Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Ensayos nucleares



<i>Radionucleido</i>	<i>Liberación Global (PBq)</i>
^3H	186000
^{14}C	213
^{34}Mn	3980
^{55}Fe	1530
^{89}Sr	117000
^{90}Sr	622
^{91}Y	120000
^{95}Zr	148000
^{103}Ru	247000
^{106}Ru	12200
^{125}Sb	741
^{131}I	675000
^{140}Ba	759000
^{141}Ce	263000
^{144}Ce	30700
^{137}Cs	948
^{239}Pu	6,52
^{240}Pu	4,35
^{241}Pu	142

Nuclear Explosions since 1945



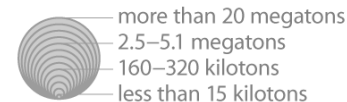
Country:	Year of first detonation:	Number of detonations:		
		atmospheric	underground	underwater
United States	1945	206	912	5
USSR	1949	223	756	3
United Kingdom	1952	21	24	
France	1960	50	160	
China	1964	22	26	
Israel?	1967 ?			
India	1974		6	
South Africa?	1979 ?	1 ?		
Pakistan	1998		7	
North Korea	2006		1	

not all data is official, and some locations are approximate. data source: <http://www.johnstonsarchive.net/nuclear/tests>

Each explosion is represented by a circle. Many of these circles overlap.

- Filled circles are atmospheric detonations
- Hollow circles are underground or underwater tests

The size of each circle represents the yield of the blast. The scale is not linear:



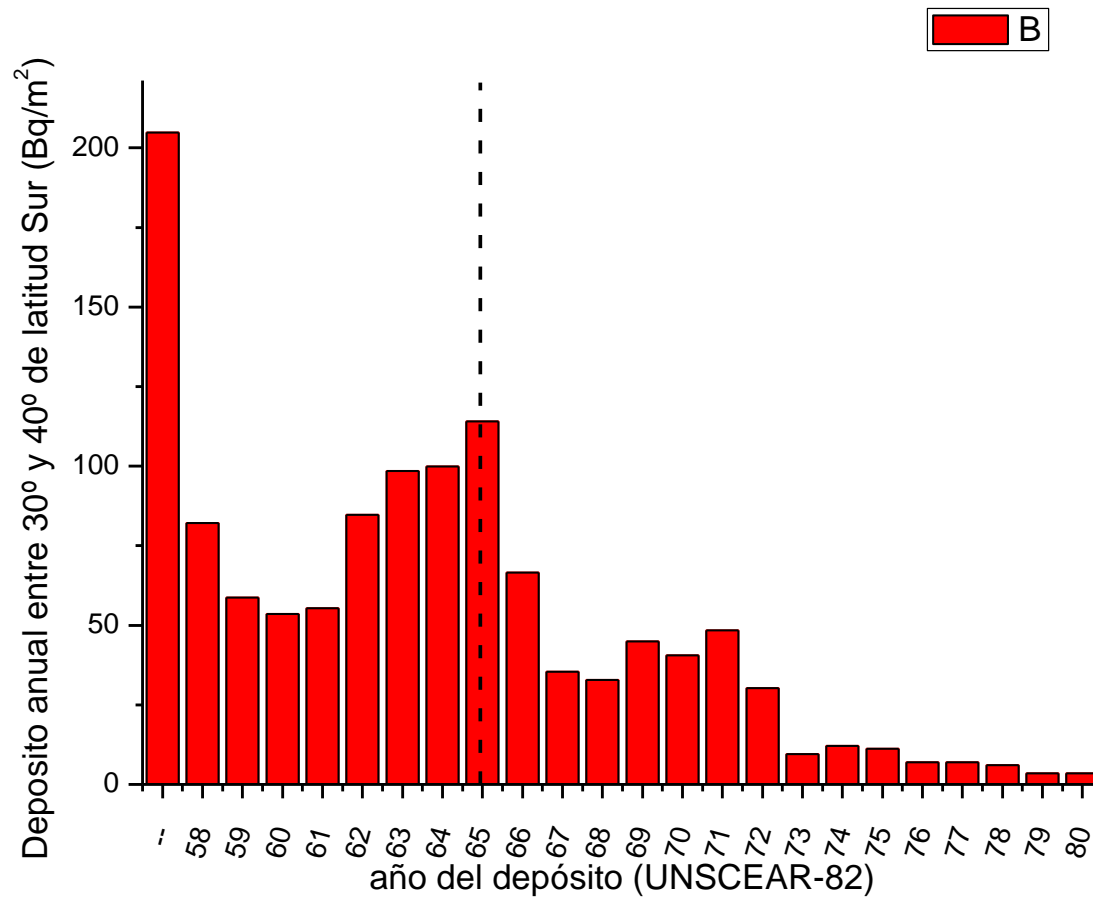
Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

This is a photo of the first ever nuclear detonation, code name Trinity, that took place July 16, 1945. The photo was taken 0.016 seconds after detonation of the device.



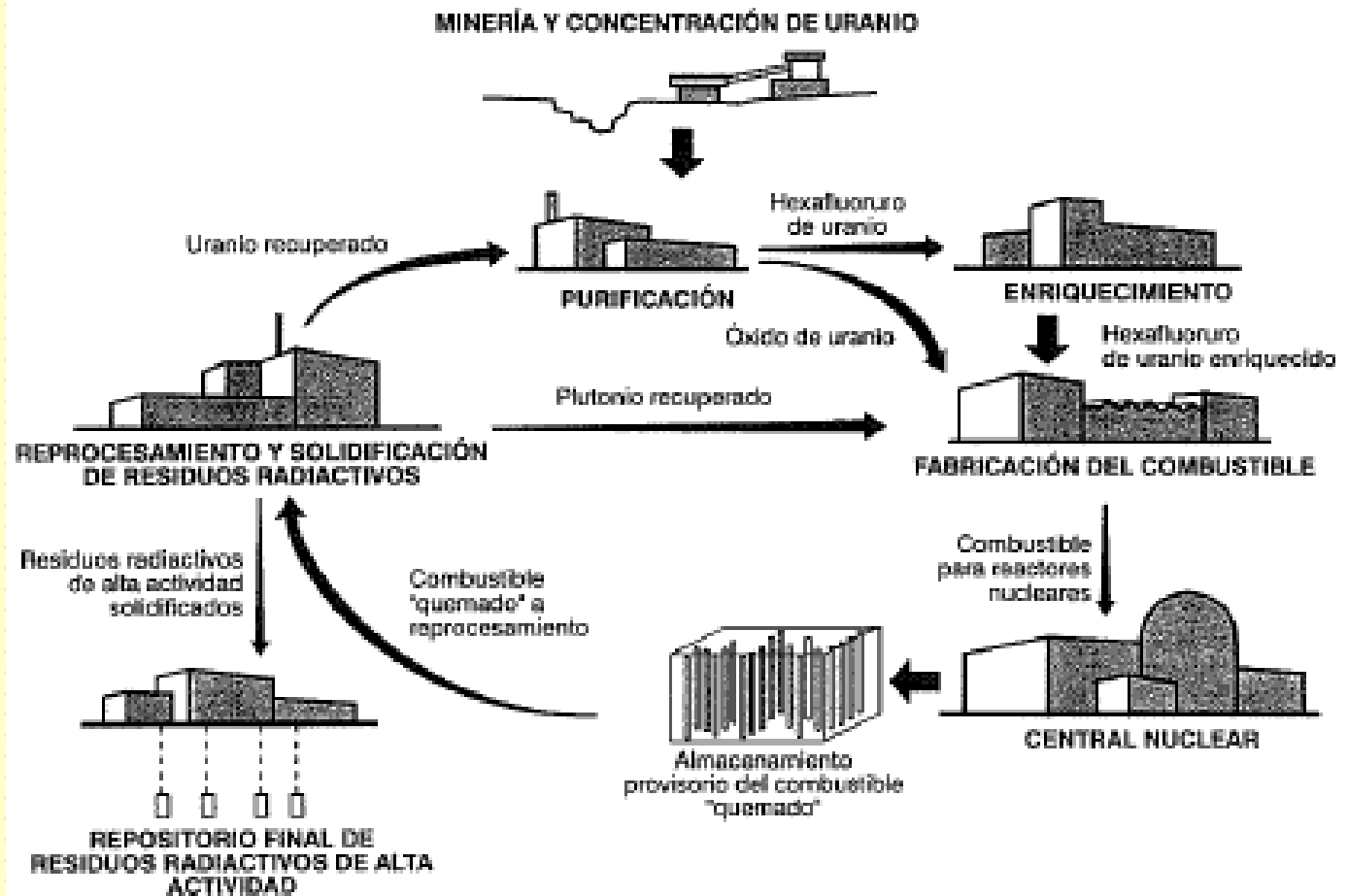
The circled black objects are trees.
In 0.016 seconds the fireball was 200 metres wide.

Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.



Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Industria nuclear.





Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Minería de uranio.

Minas a cielo abierto:

Grandes cantidades de material con concentraciones de U y de sus productos de decaimiento similares o algo superiores que la concentración de fondo.

Minas subterráneas:

Cantidades menores de rocas residuales con bajo contenido de U ya que la mayor parte se vuelve a ingresar a las galerías.

Se utilizan procedimientos hidrometalúrgicos para obtener el U en forma de óxido

→ **colas = U más sus hijas + elementos no radioactivos (metales pesados y As)** → gran impacto ambiental debido a los volúmenes de material involucrado

→ **cambios físicos y químicos en la matriz mineral** → aumento del grado de movilidad de los elementos → mayor filtración en napas freáticas

Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Minería de uranio en Argentina

Fuente	Efluentes por unidad de Producción (GBq/t)	Efluentes por unidad de área (Bq/s m ²)
minería	300	
molienda	13	
colas		11



Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Las instalaciones con Residuos de la Minería y Procesamiento de los Minerales de Uranio existentes hasta la fecha son las siguientes:

SITIO	INSTALACIÓN
MALARGÜE (Provincia de Mendoza)	Ex Complejo fabril Malargüe 1954 - 1986
HUEMUL (Provincia de Mendoza)	Yacimiento Huemul dejó de operar en 1974.
CÓRDOBA (Provincia de Córdoba)	Complejo fabril Córdoba inicio de operación 1982
LOS GIGANTES (Provincia de Córdoba)	Ex Complejo minero fabril Los Gigantes 1980 - 1990
PICHIÑÁN (Provincia del Chubut)	Ex Complejo minero fabril Pichiñan 1976 - 1980
TONCO (Provincia de Salta)	Ex Complejo minero fabril Tonco 1960 y 1981
LA ESTELA (Provincia de San Luis)	Ex Complejo minero fabril La Estela 1982 - 1990
LOS COLORADOS (Provincia de La Rioja)	Ex Complejo minero fabril Los Colorados 1992 - 1996

Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Tabla 1. Resumen de mineral uranífero procesado en Argentina

Centros productores de concentrados de uranio	Ubicación (Provincia)	Toneladas Procesadas
Planta Córdoba	Córdoba	18 000
Complejo Fabril Malargüe	Mendoza	710 000
Complejo Minero Fabril Tonco	Salta	460 000
Complejo Minero Fabril Pichiñán	Chubut	145 000
Complejo Minero Fabril San Rafael	Mendoza	1 700 000
Complejo Minero Fabril Los Gigantes	Córdoba	2 400 000
Complejo Minero Fabril La Estela	San Luis	70 000
Complejo Minero Fabril Los Colorados	La Rioja	155 000
	Total	5.658 000
Tipo de explotación minera		
Explotación subterránea		590 000 toneladas 10,4 %
Explotación a cielo abierto		5 068 000 toneladas 89,6 %



Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Residuos.

Sitio	Colas (tn)	Roca esteril (m³)	Mineral marginal (tn)
Sierra Pintada	1895000	13700000	370000
Malargüe	700000		
Huemul		19500	2500 m ³
Córdoba	57600		
Los Gigantes	2400000	1000000	600000
Pichiñan	145000		
Tonco	500000	1140000	
La Estela	70000	1000000	
Los Colorados	135000		

Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Actividad liberada globalmente y dispersión de radionucleídos provenientes de reactores y plantas de reprocesamiento.

Año	Liberación (TBq)				
	^3H	^3H	^{14}C	^{85}Kr	^{129}I
Pre -1970	2 146	919	38	32 060	0,11
1970-1974	6 543	2 809	116	97 970	0,32
1975 -1979	24 200	8 858	364	308 900	1,01
1980 -1984	44 330	13 640	523	424 400	1,53
1985 -1989	77 960	23 660	672	45 400	1,79
1990 -1994	98 900	35 390	650	823 700	3,87
1995 -1997	42 830	40 770	442	1 102 000	6,14
Total	296 900	126 000	2 805	3 243 000	14,8



Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Residuos.

Residuos de baja actividad: requieren un tiempo de aislamiento del mismo orden o menor que el de la vida media útil de las instalaciones que las generan (50 años)

Residuos sólidos producidos durante la operación de las instalaciones nucleares y por usuarios de radioisótopos.

Residuos de media actividad: requieren un tiempo de aislamiento mayores que el de la vida media útil de las instalaciones que las generan (300 años)

Resinas, barro, filtros del circuito primario de centrales y fuentes de uso médico e industrial

Residuos de alta actividad: requieren un tiempo de aislamiento mayores que 300 años.

Disposición final → matrices vítreas o cerámicas para transformarlos en productos sólidos estables
→ contenedores



Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Minería de metales

- ❖ La minería y el procesamiento para la producción de metales producen grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos.
- ❖ El metal de interés representa una pequeña fracción de la roca.
- ❖ Los residuos pueden tener elevadas concentraciones TENORM dependiendo de las características del mineral original y del método de procesamiento.

**Óxidos lantánidos, tierras raras, fosfatos de ytrio,
altas concentraciones de ^{226}Ra (1.6 Bq/kg) y Th.**



Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Fertilizantes fosfatados y producción de fósforo

❖ Producción del ácido fosfórico

→ grandes cantidades de fosfato roca o fosforita

→ $100 \text{ ppm} \leq U \leq 300 \text{ ppm}$ (rocas naturales de la corteza terrestres = 3 ppm).

→ U reemplaza al Ca en la fluorapatita.

❖ Proceso húmedo: ácido sulfúrico → ácido fosfórico + sulfato hidratado de calcio (fosfoyeso) que contiene trazas de $^{226}\text{RaSO}_4$ con una actividad aprox. 1.1 kBq/kg

❖ Incrementa el contenido de **U y Ra** en los suelos

❖ El **fosfoyeso** el utilizado también en la construcción



Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Producción y procesamiento de petróleo y gas natural

- ❖ El residuo de mayor impacto ambiental lo constituye el agua de tratamiento → estratos superiores y piletas de decantación
- ❖ contaminación química (gases tóxicos, metales pesados, etc.) + acarreo de nucleídos a la superficie de las cadenas de decaimiento del U y Th

Contaminación de suelos y acuíferos.
Formación de costras e incrustaciones en el equipamiento.



Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Combustión del carbón

❖ El carbón contiene vestigios de radionucleídos primordiales en concentraciones inferiores a las de la corteza terrestre.

❖ Durante la combustión se concentran sustancias radioactivas en las cenizas, las cuales pueden ser dispersadas en el medio ambiente en forma de aerosoles.

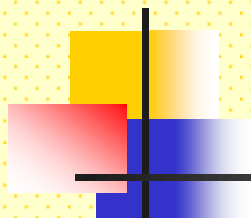
La actividad depende del tipo de carbón y de la región de la cual se extrae el mineral.

Nucleido	Actividad (Bq/kg)
^{210}Po	250
^{210}Pb	250
^{228}Th	190
^{238}U	120-140
^{234}U	120-140
^{226}Ra	120-140

Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Industria	Atmósfera (GBq/a)		Agua (GBq/a)	
	²³⁸ U	⁴⁰ K	²³⁸ U	⁴⁰ K
Transporte F	0.06	0.004	0.18	0.013
Ácido Fosfórico	0.07	0.008	336	79
Transporte Fertilizantes	0.02	0.001	0.07	0.002
Transporte Fe y aceros	0.01	0.01	0.03	0.04
Planta de energía de carbón	0.16	0.27		
Transporte de Coke	0.001	0.004	0.004	0.011
Cemento	0.2	0.4		
Cerámica	0.03	0.14		
Arenas	0.97		0.088	
Pigmentos de Ti	0.001		0.002	

Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.



Algunas prácticas médicas

Procedimiento diagnóstico	Dosis efectiva característica (mSv)	Nº equivalente de RX de tórax	Período equivalente aproximado de radiación natural de fondo (1)
<i>Radiografías:</i>			
Extremidades y articulaciones (excluida la cadera)	< 0,01	< 0,5	< 1,5 días
Tórax (sencilla, posteroanterior)	0,02	1	3 días
Cráneo	0,07	3,5	11 días
Columna dorsal	0,7	35	4 meses
Columna lumbar	1,3	65	7 meses
Cadera	0,3	15	7 semanas
Pelvis	0,7	35	4 meses
Abdomen	1,0	50	6 meses
UIV	2,5	125	14 meses
Esofagograma	1,5	75	8 meses
Esofagogastroduodenal	3	150	16 meses
Tránsito intestinal	3	150	16 meses
Enema opaco	7	350	3,2 años
TC de cabeza	2,3	115	1 año
TC de tórax	8	400	3,6 años
TC de abdomen o pelvis	10	500	4,5 años

Fuentes de exposición. Fuentes artificiales.

Procedimiento diagnóstico	Dosis efectiva característica (mSv)	Nº equivalente de RX de tórax	Periodo equivalente aproximado de radiación natural de fondo (¹)
<i>Gammagrafias:</i>			
Pulmonar de ventilación (Xe-133)	0,3	15	7 semanas
Pulmonar de perfusión (Tc-99m)	1	50	6 meses
Renal (Tc-99m)	1	50	6 meses
Tiroidea (Tc-99m)	1	50	6 meses
Ósea (Tc-99m)	4	200	1,8 años
Cardíaca dinámica (Tc-99m)	6	300	2,7 años
PET de la cabeza (F-18 FDG)	5	250	2,3 años



Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

¿Qué son los accidentes nucleares?

Cualquier evento no previsto que involucre material radioactivo

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

Escala INES (escala internacional de sucesos nucleares y radiológicos): Comunicar información sistemática sobre la importancia de sucesos nucleares y radiológicos desde el punto de vista de la seguridad.

Importancia de los sucesos derivados de una amplia gama de actividades:

- Uso industrial y médico de fuentes de radiación,
- Uso de instalaciones nucleares y el transporte de materiales radiactivos.
- Pérdida o el robo de fuentes radioactivos y hallazgo de fuentes huérfanas (ejemplo: fuentes transferidas involuntariamente al comercio de chatarra).

Los sucesos se clasifican en siete niveles.

Niveles 1 a 3 se denominan "**incidentes**".

Niveles 4 a 7 se habla de "**accidentes**".

Cada ascenso de nivel en la escala indica que la gravedad de los sucesos es, aproximadamente, diez veces superior.

Quando los sucesos no revisten importancia desde el punto de vista de la seguridad se los denomina "**desviaciones**" y se clasifican "debajo de la escala o nivel 0".



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Átomos para la paz



OCDE

Agencia para la Energía Nuclear

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

La escala se aplicó a partir de 1990 para clasificar sucesos ocurridos en centrales nucleoelectricas y posteriormente se amplió y adaptó para poder aplicarla a toda instalación asociada con la industria nuclear civil

2006: se la adaptó para satisfacer la creciente necesidad de comunicar información acerca de la importancia de todo suceso asociado con el transporte, almacenamiento y uso de fuentes y materiales radiactivos.

La escala está concebida para su uso exclusivo en aplicaciones civiles (no militares) y se aplica únicamente a los aspectos de seguridad de los sucesos

La INES no tiene por objeto clasificar sucesos relacionados con la seguridad física ni actos dolosos cometidos con el propósito de exponer a radiación a las personas.



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

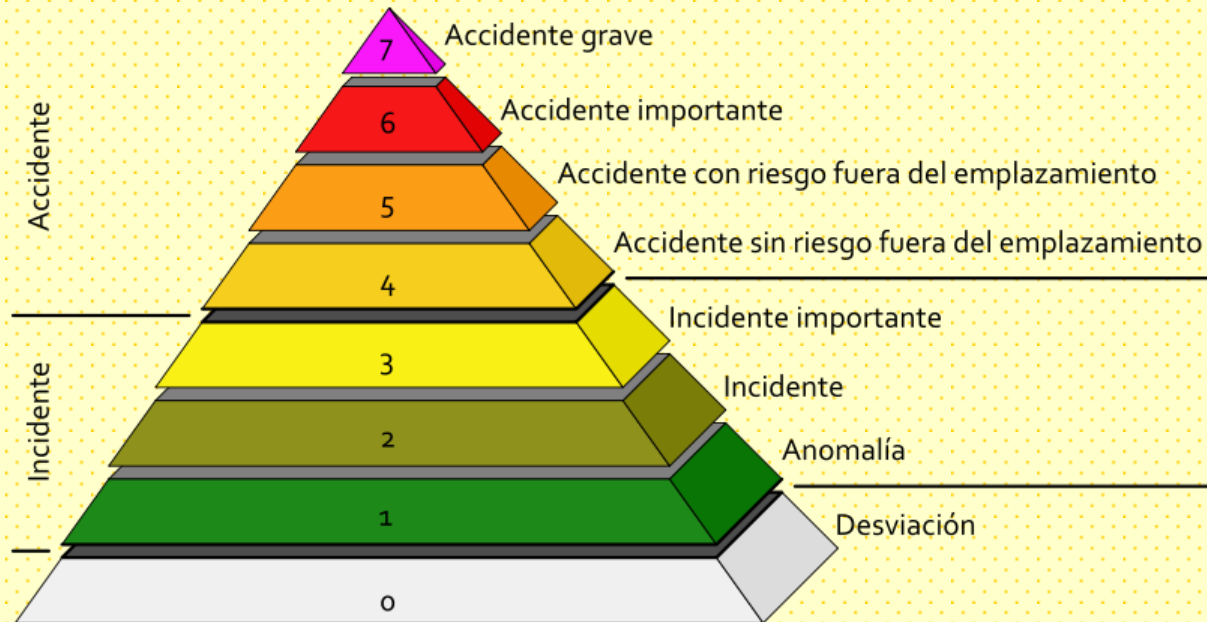
Atomos para la paz



OCDE

Agencia para la Energía Nuclear

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.



Recordar: Cada ascenso de nivel en la escala indica que la gravedad de los sucesos es, aproximadamente, diez veces superior.



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica
Amar para la paz



OCDE

Agencia para la Energía Nuclear

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

En la escala INES los accidentes e incidentes nucleares y radiológicos se clasifican por referencia a tres áreas de impacto:

Las personas y el medio ambiente: Dosis de radiación en personas situadas cerca del lugar donde ocurre un suceso y a la liberación no prevista, en un área amplia, de materiales radiactivos fuera de una instalación.

Barreras y controles radiológicos: Sucesos que no tienen impacto directo en las personas y el medio ambiente. Refiere únicamente al interior de grandes instalaciones. Niveles altos de radiación no previstos y liberación de cantidades considerables de materiales radiactivos confinados en las instalaciones.

Defensa en profundidad: Sucesos que no afectan a las personas ni al medio ambiente, pero en cuyo caso el conjunto de medidas establecidas para prevenir accidentes no funciona conforme a lo previsto.



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Átomos para la paz



OCDE

Agencia para la Energía Nuclear

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

Comunicación de sucesos.

Los Estados Miembros que aplican la INES comunican los sucesos nucleares y radiológicos con prontitud para evitar que los medios de información o las especulaciones del público propaguen versiones confusas.

En algunas situaciones en que inicialmente no se conocen todos los detalles de un suceso, puede efectuarse una clasificación provisional. Posteriormente, se determina la clasificación definitiva y se explica cualquier diferencia que pueda existir.



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica
Átomos para la paz



OCDE

Agencia para la Energía Nuclear

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS NIVELES DE LA INES

Nivel de la INES	Personas y medio ambiente	Barreras y controles radiológicos	Defensa en profundidad
Incidente importante Nivel 3	<ul style="list-style-type: none"> Exposición diez veces superior al límite anual establecido para la exposición de los trabajadores. Efecto no letal de la radiación en la salud (p. ej., quemaduras). 	<ul style="list-style-type: none"> Tasas de exposición superiores a 1 Sv/h en una zona de operación. Contaminación grave en una zona no prevista en el diseño, con escasa probabilidad de exposición importante del público. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuasi accidente en una central nucleoelectrica sin disposiciones de seguridad pendientes de aplicación. Pérdida o robo de fuentes selladas de radiactividad alta. Entrega equivocada de fuentes selladas de radiactividad alta, sin que existan procedimientos adecuados para manipularlas.
Incidente Nivel 2	<ul style="list-style-type: none"> Exposición de una persona del público por encima de 10 mSv. Exposición de un trabajador por encima de los límites anuales reglamentarios. 	<ul style="list-style-type: none"> Niveles de radiación superiores a 50 mSv/h en una zona de operación. Contaminación importante dentro de una instalación en una zona no prevista en el diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> Fallos importantes en las disposiciones de seguridad, aunque sin consecuencias reales. Hallazgo de una fuente sellada huérfana, de un dispositivo o de un embalaje para el transporte de radiactividad alta, con indicación de las disposiciones de seguridad, sin que haya habido menoscabo. Embalaje inadecuado de una fuente sellada de radiactividad alta.
Anomalia Nivel 1			<ul style="list-style-type: none"> Sobrexposición de una persona del público por encima de los límites anuales reglamentarios. Problemas menores en componentes de seguridad, con importantes medidas de defensa en profundidad pendientes de aplicación. Pérdida o robo de fuentes radiactivas, de dispositivos o de embalaje para el transporte de actividad baja.

SIN SIGNIFICACIÓN PARA LA SEGURIDAD (Debajo de la escala/Nivel 0)

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS NIVELES DE LA INES

Nivel de la INES	Personas y medio ambiente	Barreras y controles radiológicos	Defensa en profundidad
Accidente grave Nivel 7	<ul style="list-style-type: none"> • Liberación grave de materiales radiactivos con amplios efectos en la salud y el medio ambiente, que requiere la aplicación y prolongación de las contramedidas previstas. 		
Accidente importante Nivel 6	<ul style="list-style-type: none"> • Liberación importante de materiales radiactivos, que probablemente requiere la aplicación de las contramedidas previstas. 		
Accidente con consecuencias de mayor alcance Nivel 5	<ul style="list-style-type: none"> • Liberación limitada de materiales radiactivos, que probablemente requiere la aplicación de algunas de las contramedidas previstas. • Varias defunciones por radiación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Daños graves en el núcleo del reactor. • Liberación de grandes cantidades de materiales radiactivos dentro de una instalación, con alta probabilidad de exposición del público; provocada posiblemente por un incendio o un accidente de criticidad grave. 	
Accidente con consecuencias de alcance local Nivel 4	<ul style="list-style-type: none"> • Liberación menor de materiales radiactivos, con escasa probabilidad de tener que aplicar las contramedidas previstas, salvo los controles locales de alimentos. • Al menos una defunción por radiación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fusión de combustible o daño al combustible, que provoca una liberación superior al 0,1% del inventario del núcleo. • Liberación de cantidades considerables de materiales radiactivos dentro de una instalación, con alta probabilidad de importante exposición del público. 	

EJEMPLOS DE SUCESOS EN INSTALACIONES NUCLEARES

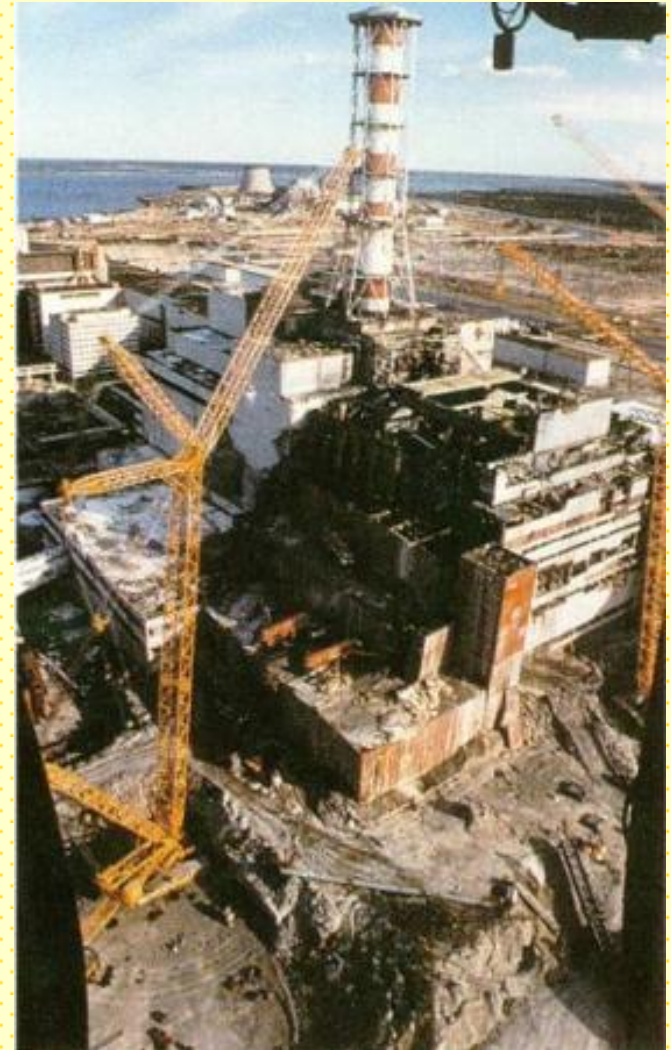
	Personas y medio ambiente	Barreras y controles radiológicos	Defensa en profundidad
7	<i>Chernóbil, 1986</i> – Efectos generalizados en la salud y el medio ambiente. Liberación externa de una fracción considerable del inventario del núcleo del reactor.		
6	<i>Kyshtym (Rusia) 1957</i> – Liberación considerable de materiales radiactivos en el medio ambiente provocada por la explosión de un tanque de desechos de actividad alta.		
5	<i>Windscale Pile (Reino Unido) 1957</i> – Liberación de materiales radiactivos al medio ambiente a raíz de un incendio en un núcleo de reactor.	<i>Three Mile Island (EE.UU.) 1979</i> – Daño grave en el núcleo del reactor.	
4	<i>Tokaimura (Japón) 1999</i> – Sobreexposición letal de trabajadores como consecuencia de un suceso de criticidad en una instalación nuclear.	<i>Saint Laurent des Eaux (Francia) 1980</i> – Fusión de un canal de combustible en el reactor, sin liberación fuera del emplazamiento.	
3	<i>No se conocen ejemplos</i>	<i>Sellafield (Reino Unido) 2005</i> – Liberación de grandes cantidades de materiales radiactivos contenida dentro de la instalación.	<i>Vandellós (España) 1989</i> – Cuasi accidente provocado por un incendio que destruyó los sistemas de seguridad en la central nucleoelectrónica.
2	<i>Atucha (Argentina) 2005</i> – Sobreexposición de un trabajador en un reactor de potencia, por encima del límite anual.	<i>Cadarache (Francia) 1993</i> – Dispersión de la contaminación en una zona no prevista en el diseño.	<i>Forsmark (Suecia) 2006</i> – Deterioro de las funciones de seguridad por fallo debido a causa común en el sistema de suministro eléctrico de emergencia en una central nucleoelectrónica.
1			Violación de los límites operacionales en una instalación nuclear.

EJEMPLOS DE SUCESOS RELACIONADOS CON FUENTES DE RADIACIÓN Y SU TRANSPORTE

	Personas y medio ambiente	Defensa en profundidad
7		
6		
5	<i>Goiânia (Brasil) 1987</i> – Cuatro personas murieron y seis recibieron dosis de unos pocos Gy emitidas por una fuente de Cs-137 abandonada y rota de radiactividad alta.	
4	<i>Fleurus (Bélgica) 2006</i> – Graves efectos en la salud de un trabajador en una instalación comercial de irradiación como resultado de la exposición a dosis altas de radiación.	
3	<i>Yanango (Perú) 1999</i> – Incidente con una fuente de radiografía que provocó graves quemaduras por radiación.	<i>Ikitelli (Turquía) 1999</i> – Pérdida de una fuente de Co-60 de radiación alta.
2	<i>Estados Unidos, 2005</i> – Sobreexposición de un radiógrafo al superar el límite anual establecido para los trabajadores expuestos a radiación.	<i>Francia, 1995</i> – Fallo en los sistemas de control de acceso a la instalación de acelerador.
1		Robo de un calibrador de humedad/densidad.

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

Chernobil, 1986



Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

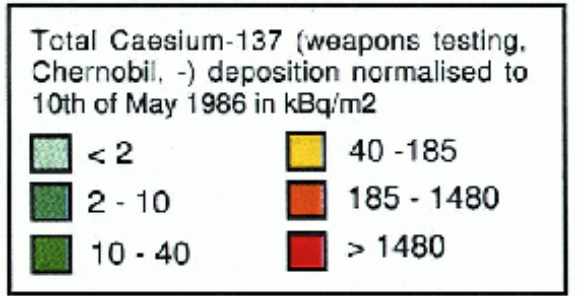
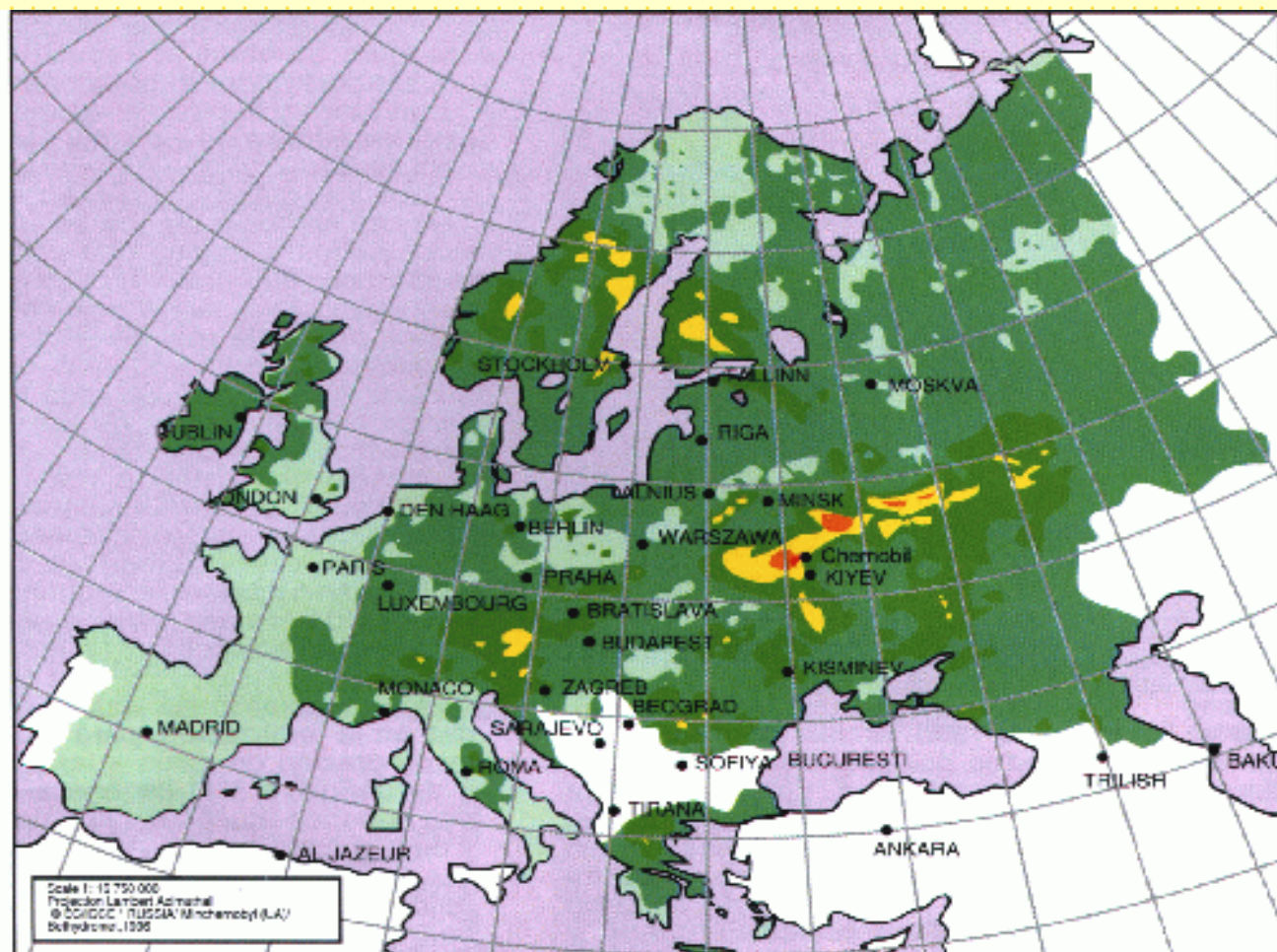
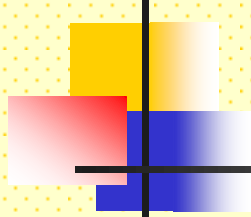




Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

- ❖ **Explosión catastrófica** en la Unidad 4 de la central nuclear
- ❖ **La mayor parte del material** radioactivo se depositó en la **región circundante del emplazamiento de la central**
- ❖ El depósito de ^{137}Cs fue la **principal consecuencia de exposición externa**
 10^{17} Bq de ^{137}Cs radioactivo fueron llevados por los **vientos** a vastas zonas y se depositaron principalmente en **Europa**.
- ❖ En territorios vecinos a Bielorusia (16.500 km²), la Federación Rusa (4.600 km²) y Ucrania (8.100 km²) se midieron niveles de actividad de ^{137}Cs **superiores a 185kBq/m²**

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.



Scale 1:15 750 000
Projection Lambert Azimuthal
© 2002 IAEA/Minchomby (LA)
Bk@york.ac.uk, 1999



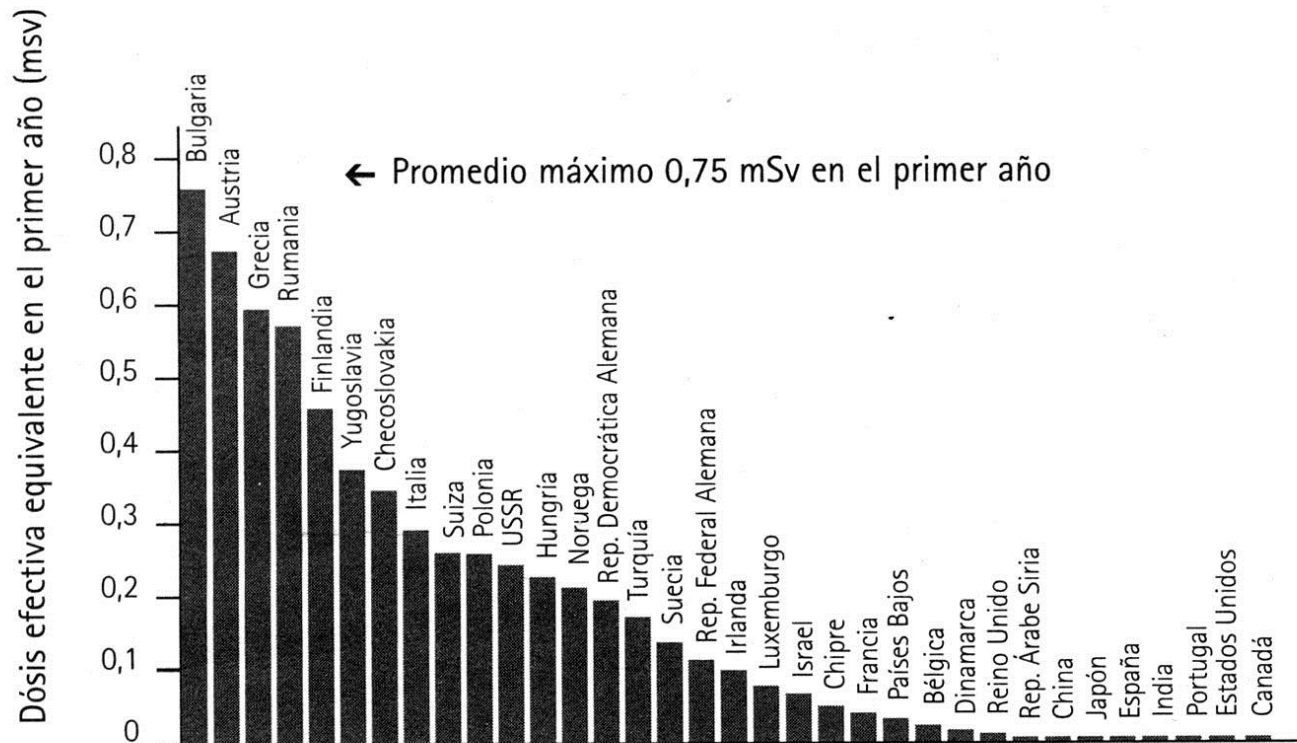
Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

- ❖ el otro elemento representativo liberado fue el ^{131}I
- ❖ la incorporación de Yodo por la tiroides hubiera sido fácil de impedir prohibiendo el consumo de alimentos contaminados o administrando pequeñas cantidades de Yodo no radioactivo de manera profiláctica para bloquear la glándula

los niños recibieron las *dosis más altas* debido a la ingestión de lácteos y a su pequeña glándula

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

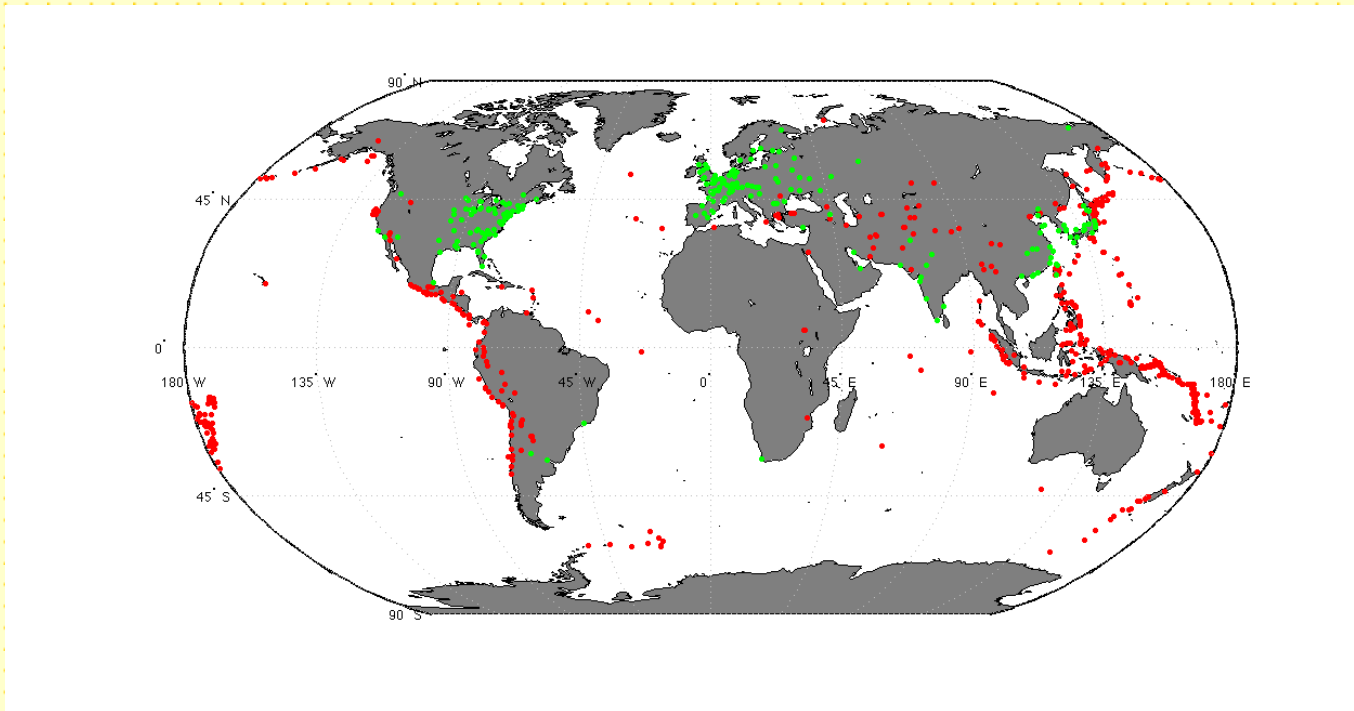
Figura 1: La dosis promedio anual durante el primer año después del accidente



Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

Plantas existentes o en construcción (222)

Terremotos de más de 7 grados en la escala Richter (1973 a 2010; 520)



- La mayoría están en sitios lejanos de terremotos intensos
- **Excepción** norte Asia y Japón

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

¿Qué paso en Japón?

•65% de la electricidad generada en Japón proviene de petróleo, carbón y gas natural (importados en un 80%).

•el 35% restante de la energía proviene de energía nuclear e hidroeléctrica.

•54 centrales nucleares instaladas

10 en Fukushima Daiichi (6) y Fukushima Daini (4), gerenciadas por TEPCO (Tokio Electric Power Company).

7 en operación y 3 en parada normal de mantenimiento el 11 de marzo de 2011,

Tsunami asociado a Terremoto involucró instalaciones nucleares



Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

11 de marzo de 2011: Terremoto sacude Japón

Serie de terremotos en la costa este de la isla de Hohshu. Tsunami afecta diferentes prefecturas

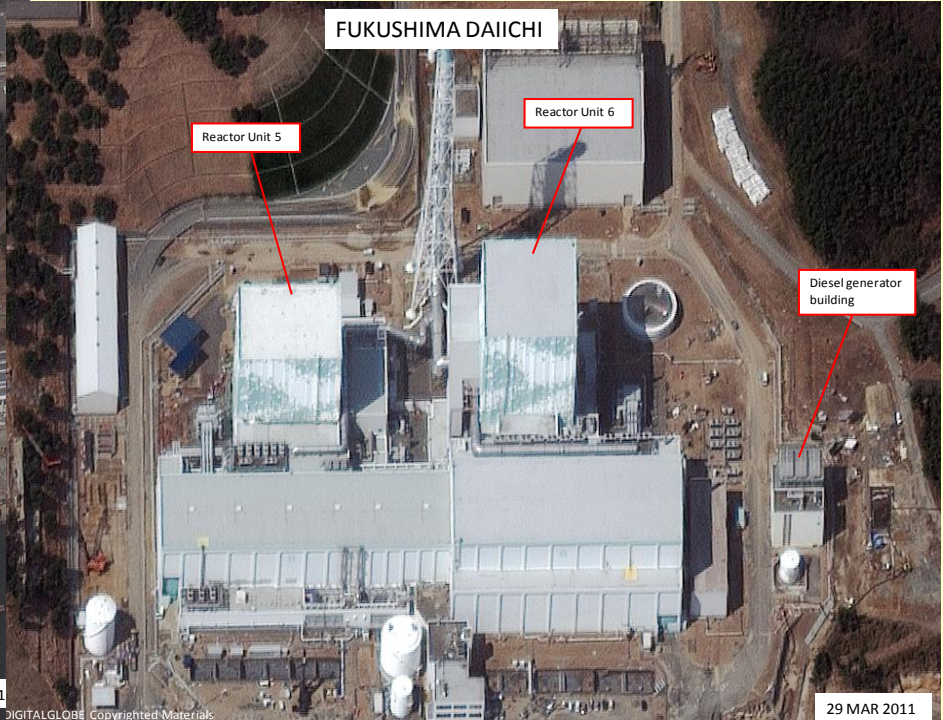
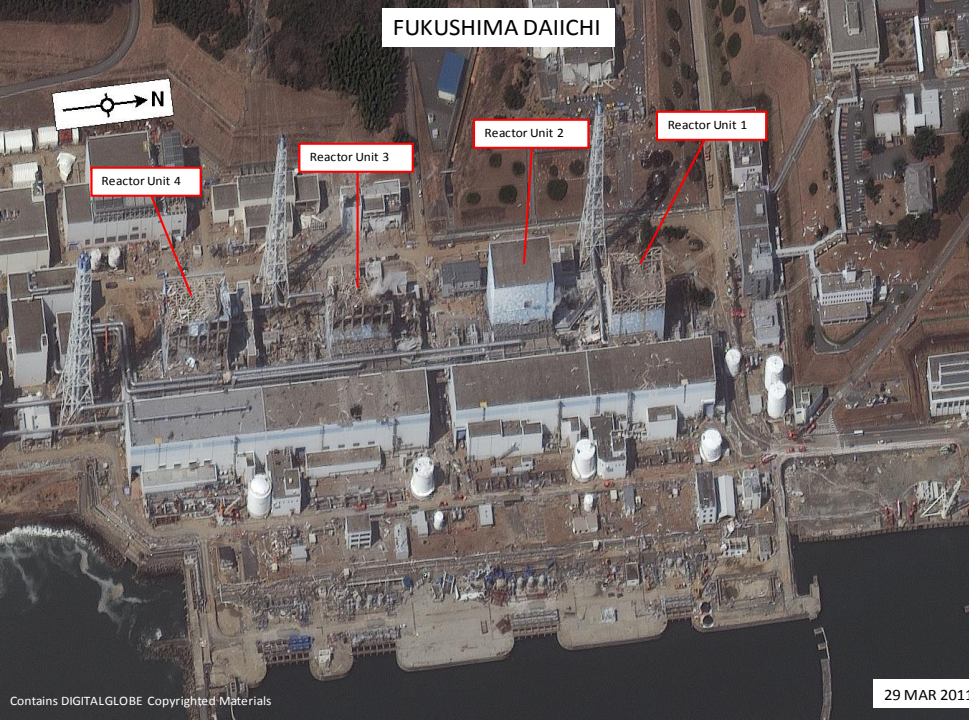


Ola máxima: 38.9 m (Miyako)



Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

- **Después del terremoto:** los sistemas de seguridad de las centrales actuaron apagando los reactores y comenzando los procesos de refrigeración de emergencia
- Fukushima Daiichi unidades 1-3 apagadas a las 14:46.
- Refrigeradas por los sistemas de emergencia diesel
- Planta nuclear de Fukushima Daiichi fue golpeada por dos olas la primera a las 15:27 del 11 de marzo (41 min después del terremoto), y la otra a las 15:35.
- Planta nuclear de Fukushima Daiichi fue golpeada por dos olas la primera a las 15:23 del 11 de marzo (37 min después del terremoto), y la otra a las 15:35.
- Diseñadas para olas de 5.7 m. Las del 11/3 fueron de 14 a 15m,
- Siete "olas" que inundaron un área de 561 km².(LP 926 km²)
- **Después del tsunami:** **Inundaron los sistemas auxiliares**, se afectó la alimentación eléctrica, lo que impidió el normal funcionamiento de los sistemas de enfriamiento, llevando a los reactores y a las piletas de almacenamiento de combustible gastado a una situación crítica.

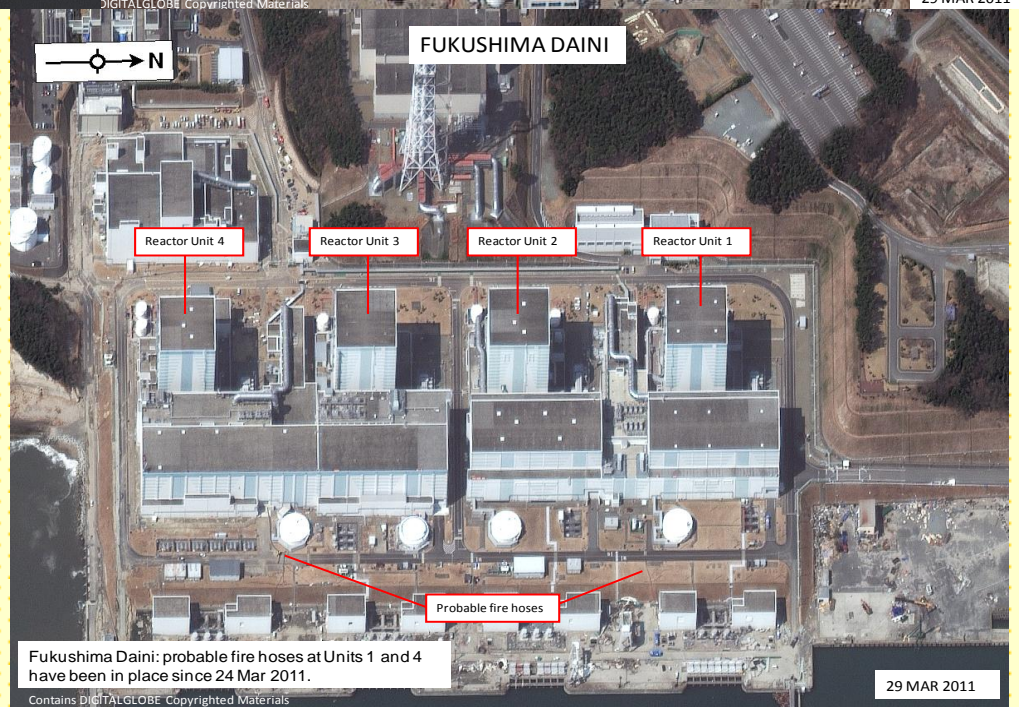


Contains DIGITALGLOBE Copyrighted Materials

29 MAR 2011

DIGITALGLOBE Copyrighted Materials

29 MAR 2011



Fukushima Daini: probable fire hoses at Units 1 and 4 have been in place since 24 Mar 2011.

29 MAR 2011

Contains DIGITALGLOBE Copyrighted Materials

Fukushima Daiini.- apagado en frío estable desde 21/4

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

Después del establecimiento de situación crítica

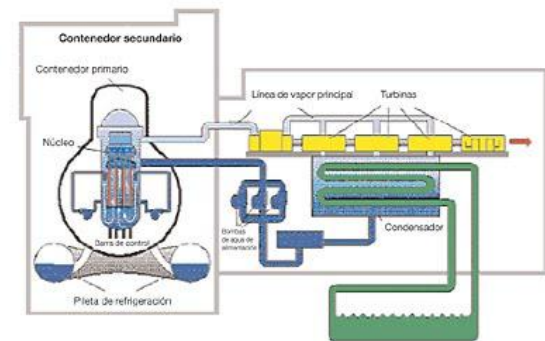
Fusión del núcleo

¿Cómo se produjo la fuga?

^{137}Cs

^{131}I

Esquema de un reactor de la planta de Fukushima I






Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

Respuesta después del establecimiento de situación crítica:

TEPCO

- **notificó al gobierno a las 15:42 del 11/3** del terremoto y pérdida de tensión unidades 1 a 5.
- **16:45** se informa del **estado de emergencia** en unidades 1 y 2
- **21:23** se establecen **radios de evacuación (3 km) y permanencia** en el interior (3 km a 10 km)
- **18:25 del 12/3** **radios de evacuación (20 km) y permanencia** en el interior el **15/3** a las **11:00** (20 km a 30 km)
- Se **prohíbe el ingreso** el 21/4

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.



Ministry of Economy,
Trade and Industry

Responding to a Nuclear Emergency

Nuclear and Industrial Safety Agency

Responding to a Nuclear Emergency ①

Q.2 How does radiation affect the human body?

A Depending on the quantity, it might be detrimental to public health.

Q.3 How does radiation affect the human body?

A Depending on the quantity, it might be detrimental to public health.

Q.4 What should our response be when we hear of an accident occurring?

A Remain calm and follow instructions broadcasted or transmitted by the competent authorities.

Q.5 What should we do in terms of contacting our family or children, etc?

A You should following the various instructions in different places and wait until things settle down.

Nuclear Emergency ②

Q.7 If you are asked to take shelter indoors, what should you do?

A You must go indoors – go to the nearest available building, house, public facility, etc.

Q.9 What happens in the shelter/first-aid center?

A First you should proceed with registration.

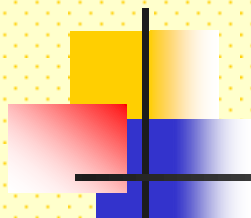
If you have suffered exposure or contamination, this will be registered and you will receive a diagnosis.

Those requiring specialist care will be transported to the requisite medical facilities.

Medidas de salvaguarda tomadas:

- **16/3** se decide encargar al Ministerio de Educación, Cultura, deportes, Ciencia y tecnología (MEXT) el **control de radiación ambiental** (tasa de dosis en aire, concentración de radionucleidos en suelos, aire y muestras ambientales en cooperación con diversos organismos).
- Se establecen **límites para el consumo de alimentos**
- **Evacuación** ($D > 20$ mSv/año = 8 veces el fondo). **Relocalización** (20 km).
- **Blindaje** (permanencia interior) $D > 10$ mSv en un año

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.



Calificación del accidente

- Inicialmente 4 en la escala INES
- Hasta el 11 de abril

FUKUSHIMA-DAIICHI-1:	INES	5
FUKUSHIMA-DAIICHI-2:	INES	5
FUKUSHIMA-DAIICHI-3:	INES	5
FUKUSHIMA-DAIICHI-4:	INES	3/4

FUKUSHIMA-DAINI-1: INES 3
FUKUSHIMA-DAINI-2: INES 3
FUKUSHIMA-DAINI-4: INES 3

- Desde el 12 de Abril
- FUKUSHIMA-DAIICHI: INES 7

EVENTOS NUCLEARES Y RADIOLOGICOS

Calificación de accidentes según la Escala de Evento Nuclear y Radiológico Internacional (INES, por su sigla en inglés)

EJEMPLOS

CHERNÓBIL, UCRANIA (1986). Amplios efectos sobre el ambiente y la salud. Liberación de una fracción significativa del núcleo.

KYSHTYN, RUSIA (1957)
Liberación significativa de material radioactivo de la explosión de un tanque de residuos.

THREE MILE ISLAND, EU (1979).
Daño severo en el núcleo del reactor.

TOKAIMURA, JAPÓN (1999). Sobreexposición fatal de trabajadores tras en evento crítico en la instalación nuclear.

SELLAFIELD, INGLATERRA (2005). Liberación de gran cantidad de material radioactivo, contenido dentro de la planta.

CADARACHE, FRANCIA (1993). Propagación de contaminación dentro de la planta a zonas no previstas.

Cualquier alteración de los límites operativos en una instalación nuclear.

FUENTE: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, REUTERS.



Nuevo nivel INES: Alcance del accidente extendido (personas y medioambiente). Se produce una mayor liberación de material radiactivo que pone en riesgo la salud general y el medio ambiente y requiere la aplicación de medidas de contraposición.

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

Report of Japanese Government
to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety
- The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations -

June 2011

Nuclear Emergency Response Headquarters
Government of Japan

**Informe de Japón a IAEA,
Junio 2011**

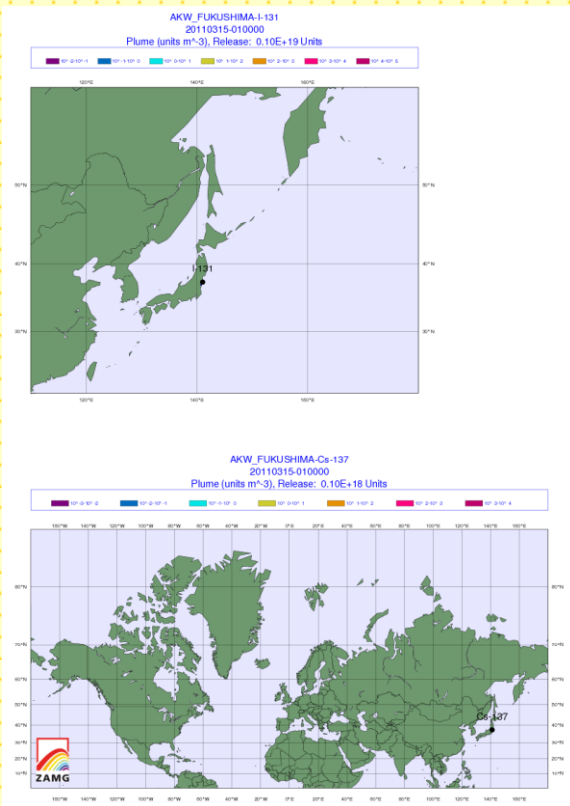
(387 paginas)

http://fukushima.grs.de/sites/default/files/NISA-IAEA-Fukushima_2011-06-08.pdf

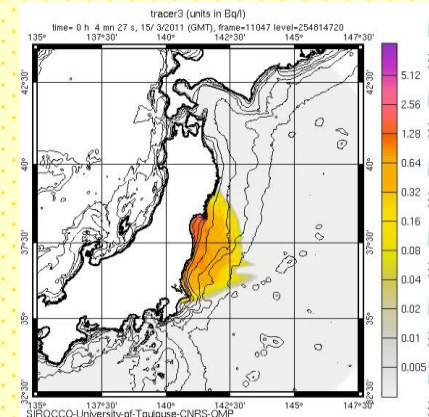
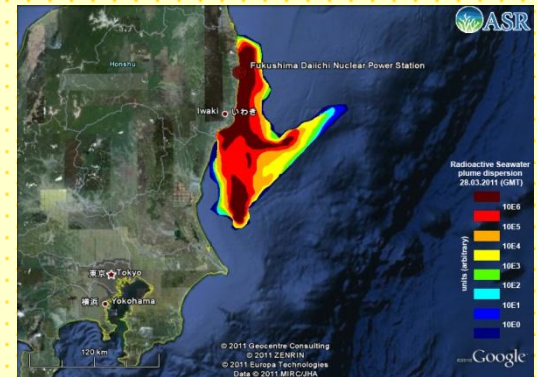
- I. Introduction
- II. Overview of Nuclear Safety Regulations and Other Regulatory Framework in Japan before the Accident
- III. Disaster damage by Tohoku Region - Off the Pacific Ocean Earthquake and Tsunami in Japan
- IV. Occurrence and Progress of Accidents in Fukushima Nuclear Power Stations
- V. Response to nuclear emergency
- VI. Discharge of radioactive materials to the environment
- VII. Situation regarding radiation exposure
- VIII. Cooperation with the international community
- IX. Communication on the accident
- X. Efforts to restore the accident in future
- XI. Response at other NPS
- XII. Lessons learned from the accident so far
- XIII. Conclusion

- Regulaciones previo al accidente
- Accidente de Fukushima, ocurrencia y progreso
- Respuesta ante emergencias
- Descarga al ambiente/exposición
- Cooperación internacional
- Comunicación/ reparación
- Lecciones aprendidas

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.



agua



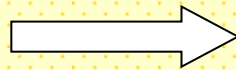
28/6: Se empezó a construir un sarcófago 47 m x 42 m, altura 57 m (finalización: septiembre)



Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

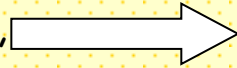
Lecciones aprendidas.

Falta de energía



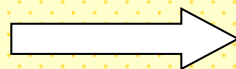
Sistemas Diesel a salvo de inundaciones
Sistemas pasivos y activos diversos

Acciones tomadas
(entrenamiento del personal,
evacuación, etc.)



Grupos de acción capacitados (offshore)
Evitar evacuaciones sobre dimensionadas o
contradictorias (USA 80 km)
Comunicación al público de manera sencilla (uso de
escalas únicas, fondo, vs unidades tradicionales)
Se refuerza el concepto de natural

Acumulación de hidrógeno



Sistemas de venteo de las vasijas de presión.
Sistemas de recombinación para bajas pérdidas
Desarrollo de nuevas barras de combustible

También se debería acelerar el desarrollo de energías alternativas.

Fuentes de exposición. Accidentes nucleares.

➤ Los movimientos atmosféricos del hemisferio norte son prácticamente independientes de los del hemisferio sur, **nuestro país no se vio ni verá afectado en forma directa** por la contaminación que si afectaría al hemisferio norte.



➤ Sin embargo, es imprescindible **implementar medidas de control de los alimentos importados** tanto de Japón como de países comercialmente activos con Japón a fin de evitar el ingreso al país de productos contaminados, tal como ocurrió con leches importadas de la zona afectada por el accidente de Chernobil.



Monitoreo ambiental.

Descarga controlada de radionucleidos: **aire + agua.**

➤ Rutina legítima de la gestión de residuos.

IMPLICA:

Monitoreo **regular** en la fuente de descarga y en el medio ambiente.

Protección al público y al medio ambiente.



Monitoreo ambiental.

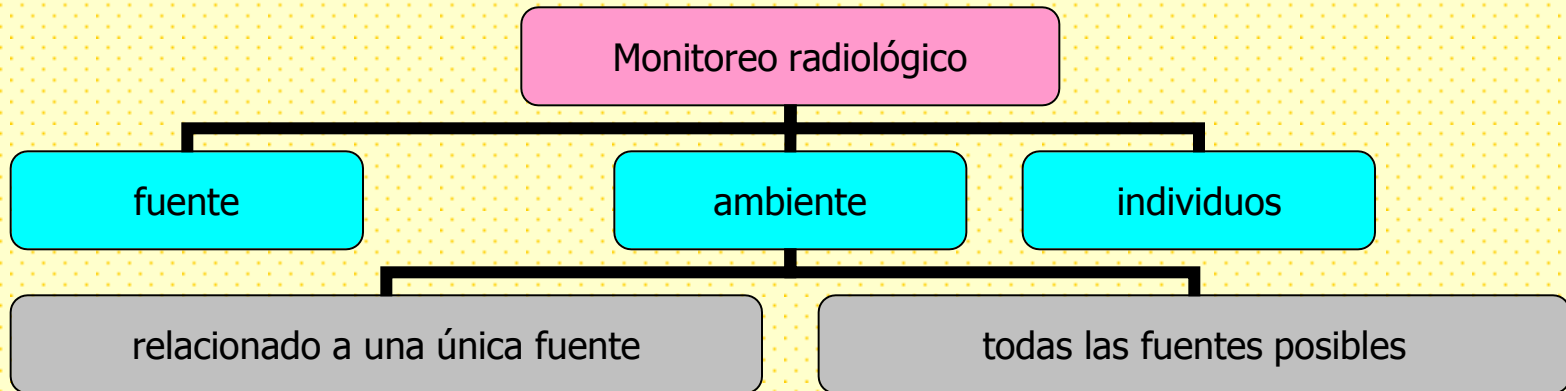
Descarga incontrolada: aire + agua + suelo

➤ **Accidente nuclear y/o radiológico**

IMPLICA:

- Monitoreo en la fuente y en el medio ambiente.
- Ejecución de acciones para la protección del público, medidas preventivas a largo plazo y de remediación.

Monitoreo ambiental.





Monitoreo ambiental.

Condiciones generales de monitoreo

Hospitales y laboratorios de investigación no requiere monitoreos ambientales, sólo se monitorea la fuente.

Instalaciones nucleares y grandes departamentos de medicina nuclear requieren monitoreos de la fuente y del medio ambiente.

El tipo de programa, escala y extensión debe estar en acuerdo con:

- Características de la velocidad de descarga
- Composición de radionucleídos
- Significancia comparativa de los diferentes caminos de exposición
- Magnitudes esperadas
- Potenciales dosis a los individuos



Monitoreo ambiental.

- En situaciones de emergencia, el monitoreo radiológico debe realizarse con una estrategia acorde con las posibles consecuencias.
- Situaciones de exposición crónica (**residuos de eventos causados por accidentes**) se establecen niveles de intervención o acción por autoridades nacionales que dependen de la circunstancias, dosis existentes, adversidades, dosis en el aire y tipo y concentración de nucleídos.

ICRP → 10 mSv para fuentes en el ambiente.

Para nucleídos de vida media larga:

- Monitoreo ambiental si la dosis es mayor que 1 mSv.
- Monitoreo de alimentos si la dosis es una gran fracción de lo estipulado como nivel de guía.



Monitoreo ambiental.

Objetivos generales de los programas

- Verificar que se cumplan las regulaciones de límites de descarga, impacto sobre el público y el ambiente.
- Proveer información sobre dosis y exposiciones potenciales o efectivas de grupos críticos en situaciones de operación normal, accidentes o actividades pasadas.
- Chequear las condiciones de operación y control adecuado sobre condiciones inusuales que requieran un programa especial de monitoreo.
- Proveer información al público.



Monitoreo ambiental.

- Antes de iniciarse cualquier operación, determinar la *línea de base* del sitio en cuestión.
- Mantener la "historia" del impacto de una determinada instalación o práctica sobre los niveles ambientales naturales.
- Evaluar el transporte en el medio ambiente y los posibles caminos de llegada al hombre, actividades humanas y procesos naturales.
- Chequear las predicciones de modelos.
- Proveer datos que permitan la evaluación de la exposición humana a la radioactividad.



Monitoreo ambiental.

Descargas controladas

Establecer y llevar a cabo un programa que:

- Asegure que la exposición del público sea menor a los límites establecidos.
- Permita tener una base de datos.
- Publique un resumen de los resultados.
- Reporte rápidamente algún aumento significativo de contaminación.
- Tenga la capacidad de realizar monitoreos de emergencia.
- Verifique las suposiciones hechas con los límites de descarga.

Radioactividad en leches de Argentina.

Journal of Food Composition and Analysis 22 (2009) 250–253



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Food Composition and Analysis

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jfca



Short Communication

Activity levels of gamma-emitters in Argentinean cow milk[☆]

J. Desimoni^{a,*}, F. Sives^a, L. Errico^a, G. Mastrantonio^{b,c}, M.A. Taylor^a

^aDepartamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Instituto de Física La Plata CONICET, Argentina

^bLaSeISiC, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, CIC-CONICET, Argentina

^cToxicología de Alimentos, Departamento de Química, Universidad Nacional de La Pampa, Argentina

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 December 2007

Received in revised form 2 September 2008

Accepted 13 October 2008

Keywords:

Radioactivity

Population exposure to environmental
emissions

Regional baseline

Radionuclide content

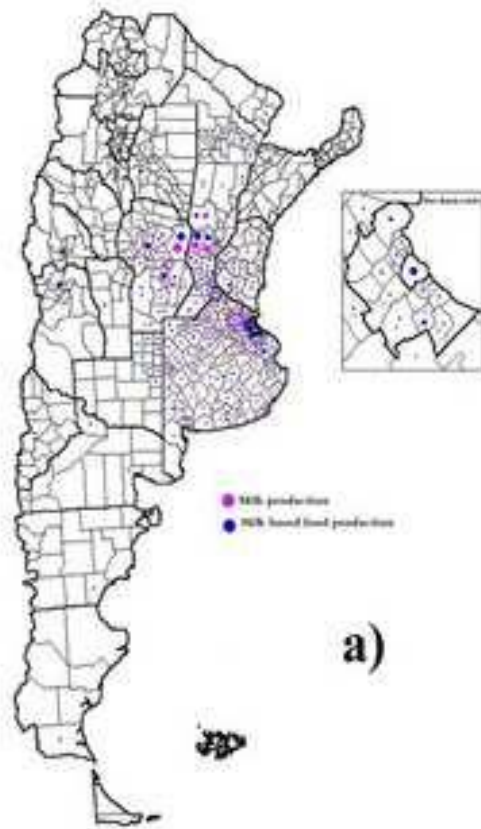
Food safety

ABSTRACT

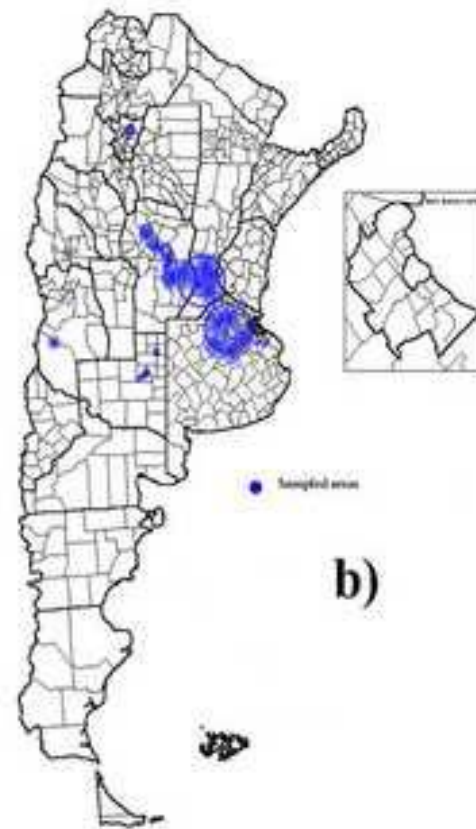
With the aim of contributing to the establishment of baselines for natural and man-made radioisotopes, the concentration of gamma-emitter radionuclides was determined in a set of commercial and dairy farm liquid cow milk produced in the most important production regions of Argentina using a gamma-ray spectrometer with a high-resolution HPGe detector. For comparison, samples from Chile and Uruguay were also analyzed. The main detected activity corresponded to ⁴⁰K, while the activities of elements of the natural chains were below the detection limit. The determined ⁴⁰K average activity for the Argentinean milk was 60 Bq/L. Traces of the anthropogenic radionuclide ¹³⁷Cs were observed only in the Chilean milk sample.

© 2009 Elsevier Inc. All rights reserved.

Radioactividad en leches de Argentina.



Regiones productivas lecheras.



Regiones muestreadas.

Radioactividad en leches de Argentina.

Sample	Province	Country	Type	Solid residue (g/l)
1	Buenos Aires	Argentina	C	106
2	Buenos Aires	Argentina	C	112
3	Buenos Aires	Argentina	C	106
4	Buenos Aires	Argentina	C	111
5	Buenos Aires	Argentina	C	119
6	Buenos Aires	Argentina	C	95
7	Buenos Aires	Argentina	C	100
8	Buenos Aires	Argentina	C	102
9	Buenos Aires	Argentina	C	77
10	Santa Fe	Argentina	C	106
11	Santa Fe	Argentina	C	113
12	Santa Fe	Argentina	C	102
13	Santa Fe	Argentina	C	109
14	Santa Fe	Argentina	C	112
15	Santa Fe	Argentina	C	102
16	La Pampa	Argentina	NC	85
17	La Pampa	Argentina	NC	122
18	La Pampa	Argentina	NC	126
19	La Pampa	Argentina	NC	135
20	La Pampa	Argentina	NC	117
21	La Pampa	Argentina	NC	124
22	Córdoba	Argentina	C	86
23	Córdoba	Argentina	C	105
24	Córdoba	Argentina	NC	102
25	Córdoba	Argentina	C	83
26	Córdoba	Argentina	C	96
27	Córdoba	Argentina	C	100
28	Tucumán	Argentina	C	127
29	Mendoza	Argentina	NC	83
30	Montevideo	Uruguay	C	102
31	X° Región	Chile	C	108

Radioactividad en leches de Argentina.

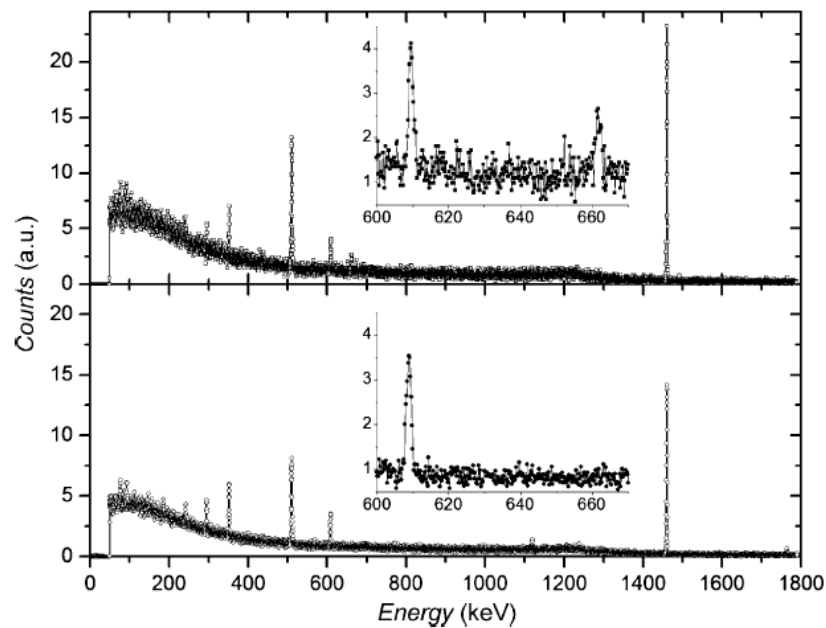
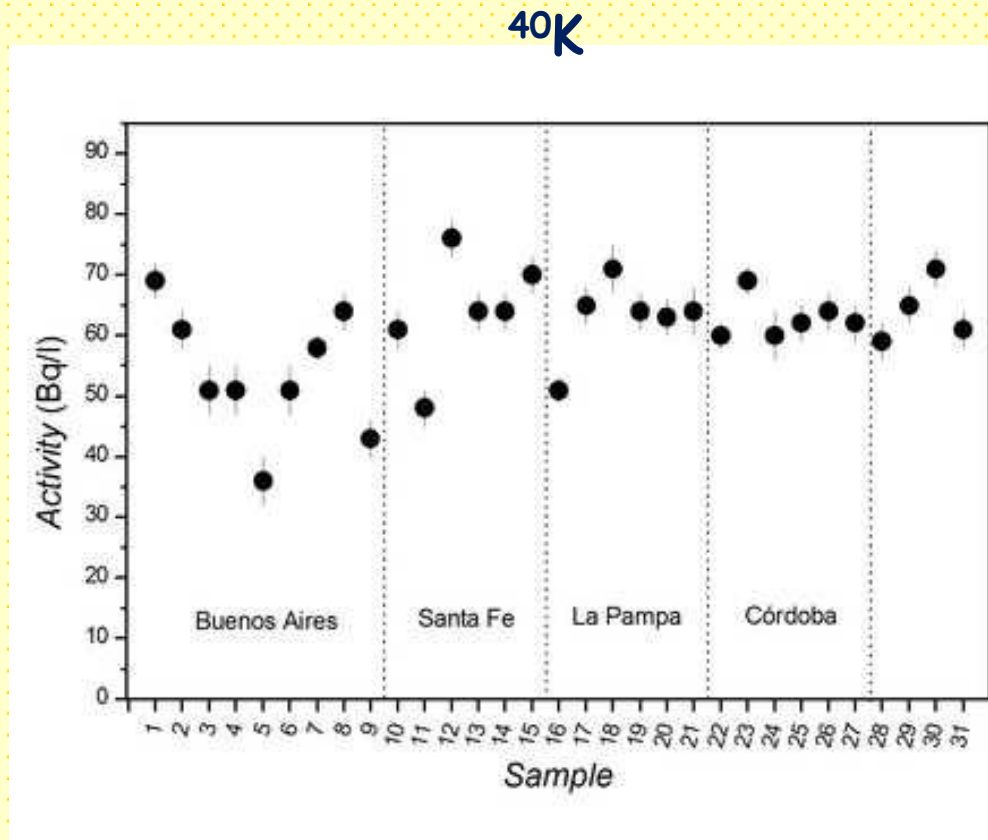
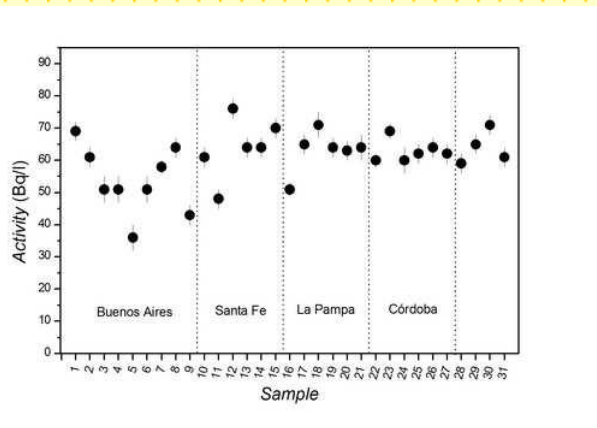


Fig. 2. Typical gamma-ray spectra recorded from the Chilean sample (top) and a selected Argentine sample (bottom). The inset corresponds to the 662 keV energy region (^{137}Cs energy).



Radioactividad en leches de Argentina y el mundo.

^{40}K



Del consumo anual promedio de leche en Argentina (**219 l/hab**, sin discriminar edad de los mismos) y los coeficientes de dosis reportados por la UNSCEAR para ^{40}K pesados por la pirámide poblacional ($=10.8^{-9}$ Sv/Bq) se determinó:

Dosis anual efectiva por ^{40}K : 80-180 $\mu\text{Sv/año}$ (promedio: 143 $\mu\text{Sv/año}$).

Este valor es similar al promedio mundial (promedio: 170 $\mu\text{Sv/año}$).
Y menor a la dosis recomendada por ICRP (promedio: 220 $\mu\text{Sv/año}$).

Radioactividad en leches de Argentina y el mundo.

Radionuclide activity levels in cow milk: Survey and impact

J. Desimoni¹, L. Errico^{1,2}, and M.A. Taylor¹

¹*Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas-UNLP, IFLP - CONICET, C.C. 67, 1900 La Plata, Argentina.*

²*Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.*

Corresponding author: Judith Desimoni. Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. CC 67 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina. Tel: +54 (221) 4246062. Fax: +54 (221) 4252006. e-mail: desimoni@fisica.unlp.edu.ar

Table I: United Nations Scientific Committee on the Effects of the Atomic Radiation age-dependent committed effective dose coefficients for the members of public used in the present evaluation of annual committed effective dose in $\mu\text{Sv/Bq}$.

nuclide	infants	children	adults
⁴⁰ K	0.042	0.013	0.0062
²³² Th	0.45	0.29	0.23
²²⁶ Ra	0.96	0.80	0.28
²²⁸ Ra	5.7	3.9	0.69
²¹⁰ Pb	3.6	1.9	0.69
²¹⁰ Po	8.8	2.6	1.2
¹²⁹ I	0.22	0.17	0.11
¹³⁷ Cs	0.012	0.010	0.013
⁹⁰ Sr	0.073	0.060	0.028
^{239/240} Pu	0.42	0.30	0.25

Country	Activity (Bq/l)	Reference
Argentina	36 to 76	Present results
Brazil	53 to 55*	Melquíades and Appoloni, 2001
Costa Rica	37 to 56	Loría , 2007
France	48*	Hosseini, 2006
Germany	68*	Hosseini, 2006
Hong Kong	48	Yu, 1994
Israel	49 to 52*	Lavi, 2006
New Zealand	61 to 67*	Hosseini, 2006
Nigeria	85 to 105*	Osibote, 1999
Spain	32 to 64	Baeza, 2004
Syria	54*	Al-Masri, 2004
Syria for infants	14 to 48*	Al-Masri, 2004
Ukraine	44	Shiaishi, 1997
Venezuela	45*	La Becque, 1992



Radioactividad en aguas de Ezeiza.

Determinación de las actividades de ^{60}Co , ^{137}Cs y ^{235}U en muestras de suelo, sedimentos y agua provenientes de la zona aledaña a una instalación nuclear.

M. E. Valdés¹, M. V. Blanco¹, M. A. Taylor^{1,2}, F.R. Sives², J. Runco¹, J. Desimoni^{1,2*}

¹Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de La Plata

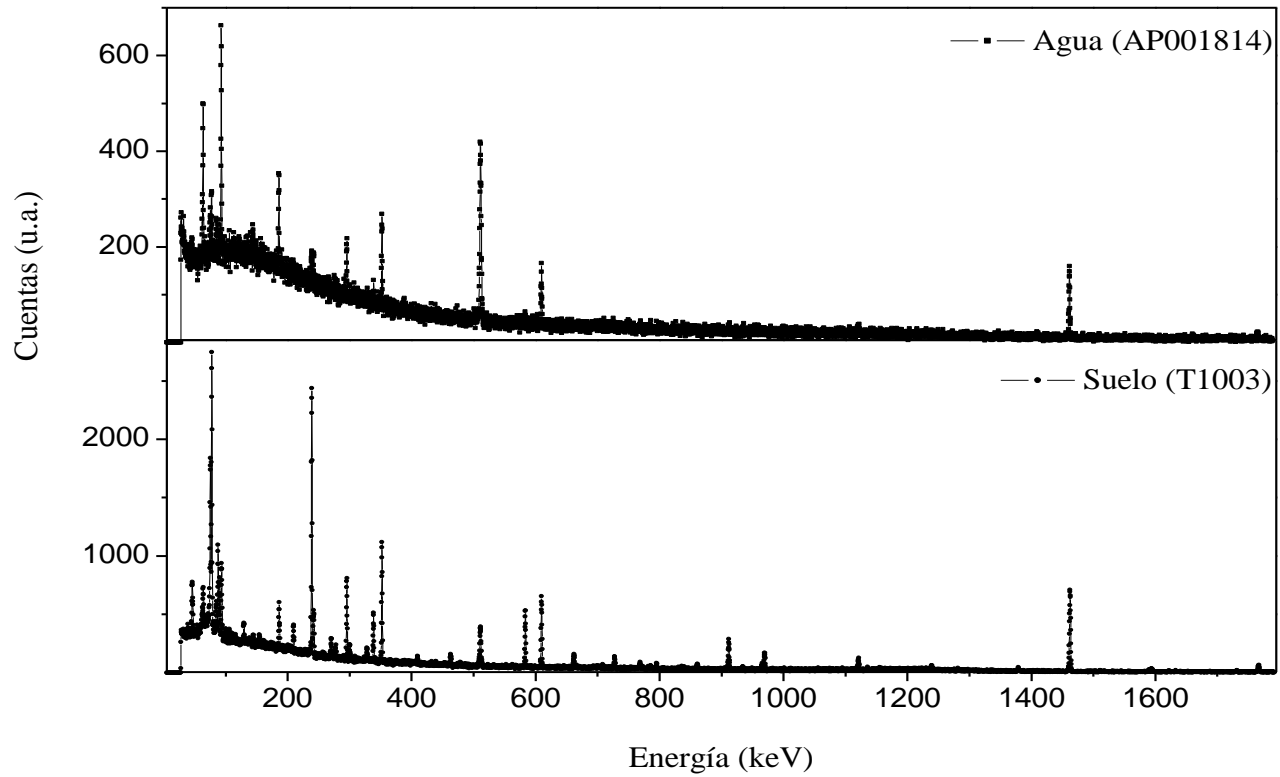
Calle 49 y 115, C. C. N° 67, 1900 La Plata, Argentina

²Instituto de Física La Plata, CONICET, La Plata, Argentina

Radioactividad en aguas de Ezeiza.



Radioactividad en aguas de Ezeiza.

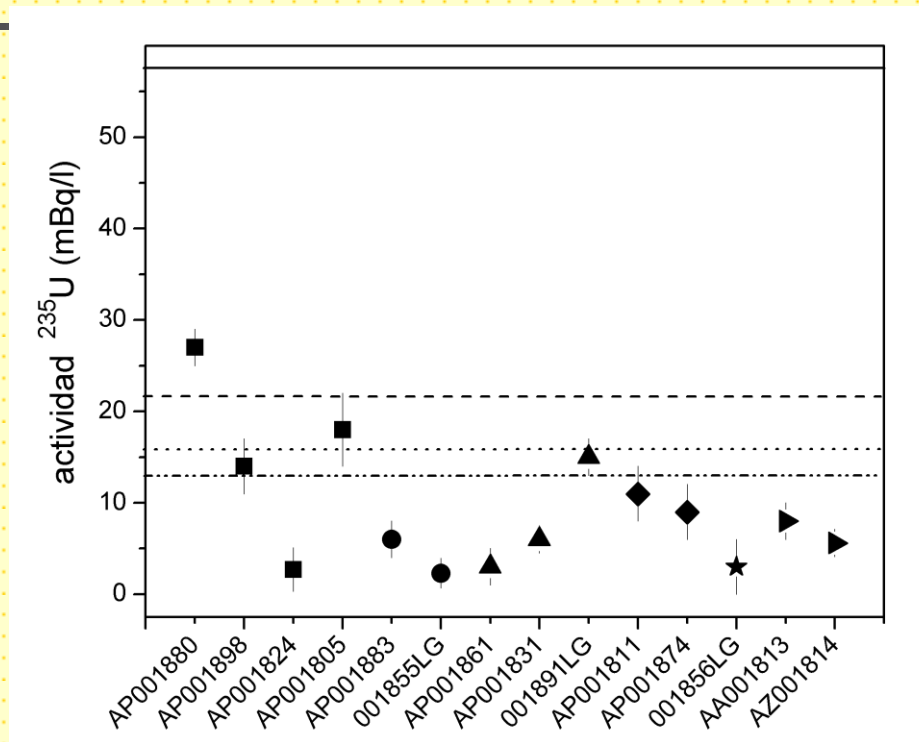


Radioactividad

Actividades obtenidas de los radionucleídos ^{235}U (cota máxima), ^{60}Co y ^{137}Cs y niveles guía radiológicos para agua de consumo humano.

Muestra	^{235}U (mBq/l)	^{60}Co (mBq/l)	^{137}Cs (mBq/l)	Residuo sólido (g/l)
AP001880	27 +/- 2	< 2	< 0.05	2.96
AP001898	14 +/- 3	< 3	< 2	1,19
AP001837	< 0.06	< 0.04	< 2	0.96
AP001824	3 +/- 2	< 4	< 0.1	1.04
AP001805	18 +/- 4	< 2	< 0.07	1.27
AP001883	6 +/- 2	< 2	< 0.06	0.49
001855LG	2 +/- 2	< 2	< 2	1.61
001847LG	< 0.06	< 1	< 2	1.29
AP001861	3 +/- 2	< 2	< 0.04	2.19
AP001831	6 +/- 2	< 2	< 0.07	0.96
001839LG	< 0.06	< 5	< 2	1.79
001804LG	< 0.06	< 1	< 2	0.93
001891LG	15 +/- 2	< 2	< 2	2.14
AP001811	11 +/- 3	< 4	< 0.06	0.97
AP001874	9 +/- 3	< 2	< 1	0.94
001806LG	< 0.05	< 2	< 2	0.85
AA001879	< 0.06	< 0.08	< 0.6	1.40
AA001813	8 +/- 2	< 22	< 0.06	1.47
AZ001814	6 +/- 2	< 2	< 0.06	1.14
nivel guía ICRP	1000	100000	10000	

Radioactividad en aguas de Ezeiza.



Actividad obtenida de ^{235}U en muestras de agua. Los símbolos de la figura indican: !: profundidad desconocida, ,: profundidad entre 20 m y 40 m, 7: profundidad entre 60 m y 70 m, L: profundidad entre 80 m y 100 m, x: red domiciliaria de la zona de La Plata y b: Arroyo Aguirre y zanja. Las líneas corresponden a los valores "límites estimados" calculados a partir de los valores de toxicidad química de U sugeridos por: Ley 24051 (Ley nacional de los residuos peligrosos) (12) (línea sólida), Canadá (14) y Provincia de Buenos Aires (13) (línea de trazos), USEPA (15) (línea punteada) y Organización Mundial de la Salud (4) (línea de trazos y puntos).

Radioactividad en aguas de Ezeiza.



Mapa de la zona de Ezeiza ampliado. Los símbolos de la figura indican la actividad de Uranio encontrada en agua según: \square : simbolizan actividades mayores a 10 Bq/l, \triangle : indican actividades que van entre 10Bq/l y el límite de detección y \odot : indican actividades menores al límite de detección.
La línea punteada indica una distancia al centro de la circunferencia de 2 km.

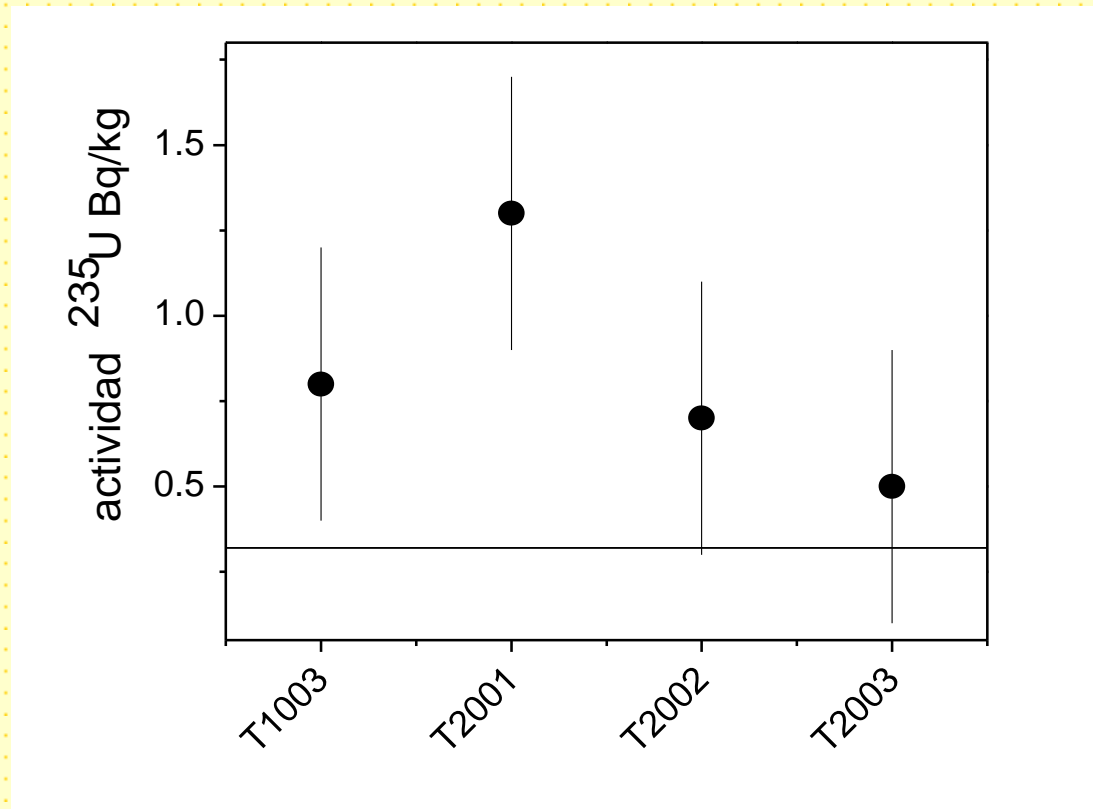


Radioactividad en aguas de Ezeiza.

Muestra	^{235}U (Bq/kg)	^{60}Co (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)
T1001	< 0.01	< 0.4	1.0 +/- 0.4
T1002	< 0.3	< 0.1	2.6 +/- 0.6
T1003	0.8 +/- 0.4	< 0.5	3 +/- 2
T2001	1.3 +/- 0.4	< 0.5	1.8 +/- 0.6
T2002	0.7 +/- 0.4	< 0.6	2.3 +/- 0.5
T2003	0.5 +/- 0.8	< 0.7	< 0.02
Bosque1	< 0.02	< 0.6	2.4 +/- 0.6
SA001	< 0.01	1.9 +/- 0.7	2.5 +/- 0.5
SA002	< 0.02	< 0.6	< 0.01

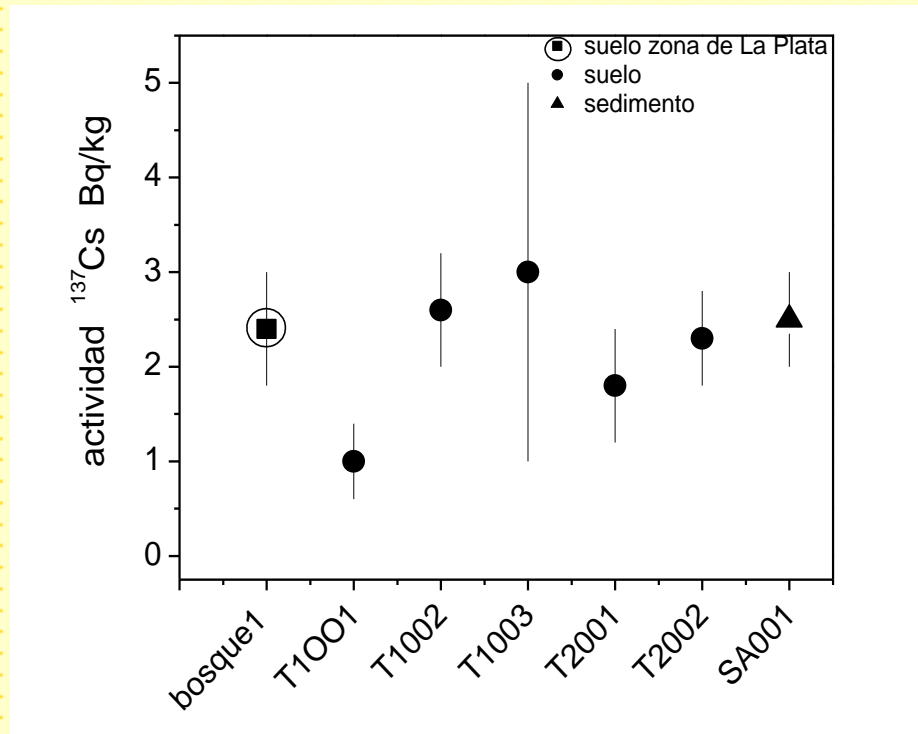
Actividades ^{235}U (cota máxima), ^{60}Co y ^{137}Cs en muestras de suelos y sedimentos.

Radioactividad en aguas de Ezeiza.



Actividad de ^{235}U de las muestras de suelo. La línea sólida corresponde al mayor límite de detección determinado.

Radioactividad en aguas de Ezeiza.



Actividad de ^{137}Cs de las muestras de suelo. Los símbolos indican: □: zona de La Plata, ●: zona de Ezeiza y ▲: sedimento.



Cálculo de dosis.

Exposición externa

A partir de las actividades C_i de las **cadena naturales en suelos y del ^{40}K** se puede hacer una estimación de la tasa de dosis absorbida a un metro de la superficie del suelo, considerando la radiación proveniente de los primeros **10 cm** del suelo:

$$D(n\text{Gy} / h) = 0.462C_{^{238}\text{U}} + 0.604C_{^{232}\text{Th}} + 0.0417C_{^{40}\text{K}}$$

Algunos números:

Tasa de dosis promedio más alta: 92 nGy/h, rango de 55 a 130 nGy/h (Malasia)

Tasa de dosis promedio más baja: rango de 9 a 52 nGy/h (Chipre,)

Valor más bajo: 2 nGy/h (China),

Mayor valor: 1200 nGy/h (Noruega)



Cálculo de dosis.

Dosis efectiva anual equivalente (DEAE)

$$DEAE(Sv) = 10^{-9} * 24 * 365 * 0.2 * \sum_i f_i * A_i * C_i$$

A_i = actividad de las cadenas del ^{232}Th , ^{238}U y el ^{40}K en suelos

- 0.2: Porcentaje de tiempo en el exterior.
- f_i = factor de conversión de Bq/kg a nGy/h
- C_i = factor de peso según edad (infantes, niños, adultos)

<i>nucleído</i>	$f_i (nGyh^{-1}/Bqkg^{-1})$	$C_i (Sv/Gy)$		
		<i>infantes</i>	<i>niños</i>	<i>adultos</i>
^{40}K	0,0417	0,926	0,803	0,709
^{232}Th	0,604	0,907	0,798	0,695
^{238}U	0,462	0,899	0,766	0,672



Cálculo de dosis.

Exposición interna.

Dosis efectiva anual equivalente:

Ingestión

$$D \text{ (mSv/año)} = A_i f_i FI$$

A_i = actividad integrada (Bq a/kg)

f_i = coeficiente de conversión (mSv/Bq)

FI = consumo (kg/año)

Inhalación

$$D \text{ (Sv)} = P_{14} P_{45} A_i = P_{245} F$$

A_i = actividad integrada (Bq/m³)

P_{14} = velocidad de respiración (m³/a)

P_{45} = coeficiente de conversión (Sv/Bq)

F = densidad de depósito



Cálculo de dosis.

Ejemplo I:

Un problema particular en laboratorios de Medicina Nuclear es la potencial fugas o escape de gases radiactivos (por ejemplo, ^{133}Xe utilizado en estudios de función pulmonar) o material radioactivo volátil (por ejemplo, soluciones concentradas de ^{131}I).

Las regulaciones especifican la concentración para materiales radioactivos en aire. A partir de las dosis límites y los cálculos anteriores se pueden determinar las actividades máximas permitidas.

Suponiendo un trabajador expuesto en forma crónica a estas concentraciones durante un año laboral de 2000 horas y un volumen de 2×10^4 mL de aire aspirado por minuto se obtienen las siguientes concentraciones.

Radionuclide	Air Concentration	
	$\mu\text{Ci/mL}$	kBq/mL
^3H	2×10^{-5}	0.74
^{11}C	2×10^{-4}	7.4
^{14}C	1×10^{-6}	3.7×10^{-2}
^{18}F	3×10^{-5}	1.1
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6×10^{-5}	2.2
^{125}I	3×10^{-8}	1.1×10^{-3}
^{131}I	2×10^{-8}	7.4×10^{-4}
^{133}Xe	1×10^{-4}	3.7



Cálculo de dosis.

Ejemplo II:

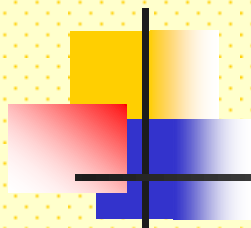
Regulaciones para la concentración de radiactividad en aire, agua y aguas residuales conducirían a los límites de dosis anuales para el público en general.

La concentración de radioisótopos en aguas residuales es preocupante porque pueden llegar a los suministros de agua.

Estos límites asumen:

- Inhalación o ingestión continua por el público durante un período de 1 año.
- 2×10^4 mL de aire por minuto.
- Consumo de agua: 730 l por año. El agua de alcantarillado es
- Se supone que las aguas residuales se diluyen por un factor 10 antes de ingerirse.

Cálculo de dosis.



Radionuclide	Environmental Concentrations					
	Air		Water		Sewage Concentration	
	$\mu\text{Ci/mL}$	kBq/mL	$\mu\text{Ci/mL}$	kBq/mL	$\mu\text{Ci/mL}$	kBq/mL
^3H	1×10^{-7}	3.7×10^{-3}	1×10^{-3}	3.70×10^1	1×10^{-2}	3.70×10^2
^{11}C	6×10^{-7}	2.2×10^{-2}	6×10^{-3}	2.22×10^2	6×10^{-2}	2.22×10^3
^{14}C	3×10^{-9}	1.1×10^{-4}	3×10^{-5}	1.11×10^0	3×10^{-4}	1.11×10^1
^{18}F	1×10^{-7}	3.7×10^{-3}	7×10^{-4}	2.59×10^1	7×10^{-3}	2.59×10^2
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	2×10^{-7}	7.4×10^{-3}	1×10^{-3}	3.70×10^1	1×10^{-2}	3.70×10^2
^{125}I	3×10^{-10}	1.1×10^{-5}	2×10^{-6}	7.40×10^{-2}	2×10^{-5}	7.40×10^{-1}
^{131}I	2×10^{-10}	7.4×10^{-6}	1×10^{-6}	3.70×10^{-2}	1×10^{-5}	3.70×10^{-1}
^{133}Xe	5×10^{-7}	1.9×10^{-2}	—	—	—	—



Efectos de la exposición a radiación

La interacción a nivel celular:

- ❖ Tiene Caracter *Probabilístico*
- ❖ Es *No selectiva*
- ❖ Es *No específica*
- ❖ *Son siempre dañinas*

Mecanismos de acción

- ❖ **Directos** (ionización átomos o moléculas). Mutación de células.
- ❖ **Indirectos** (producción de radicales libres en los fluidos corporales). Toxicidad por los radicales libres.

Efectos de la exposición a radiación

EFFECTOS DETERMINÍSTICOS

Tienen umbral

Son tempranos

Son somáticos

EFFECTOS ESTOCÁSTICOS

No tienen umbral

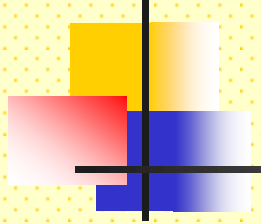
Son tardíos

Somáticos o hereditarios

CIPR 1928 (Comisión Internacional de Protección Radiológica)

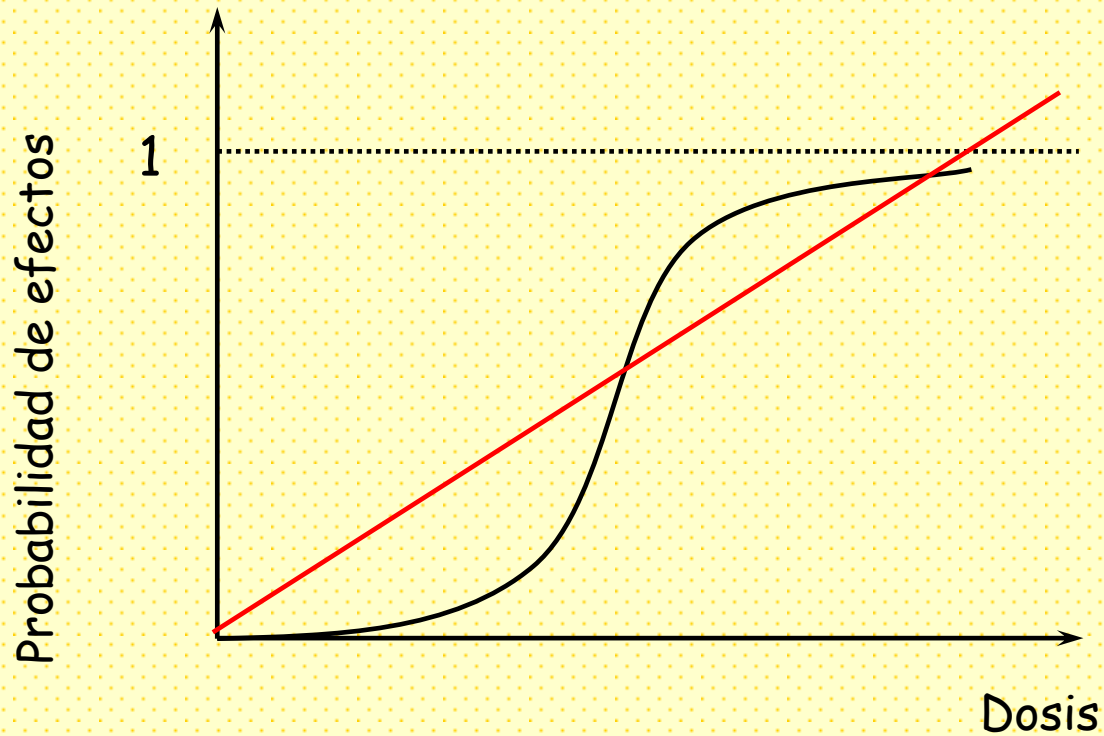
UNSCEAR 1955 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)

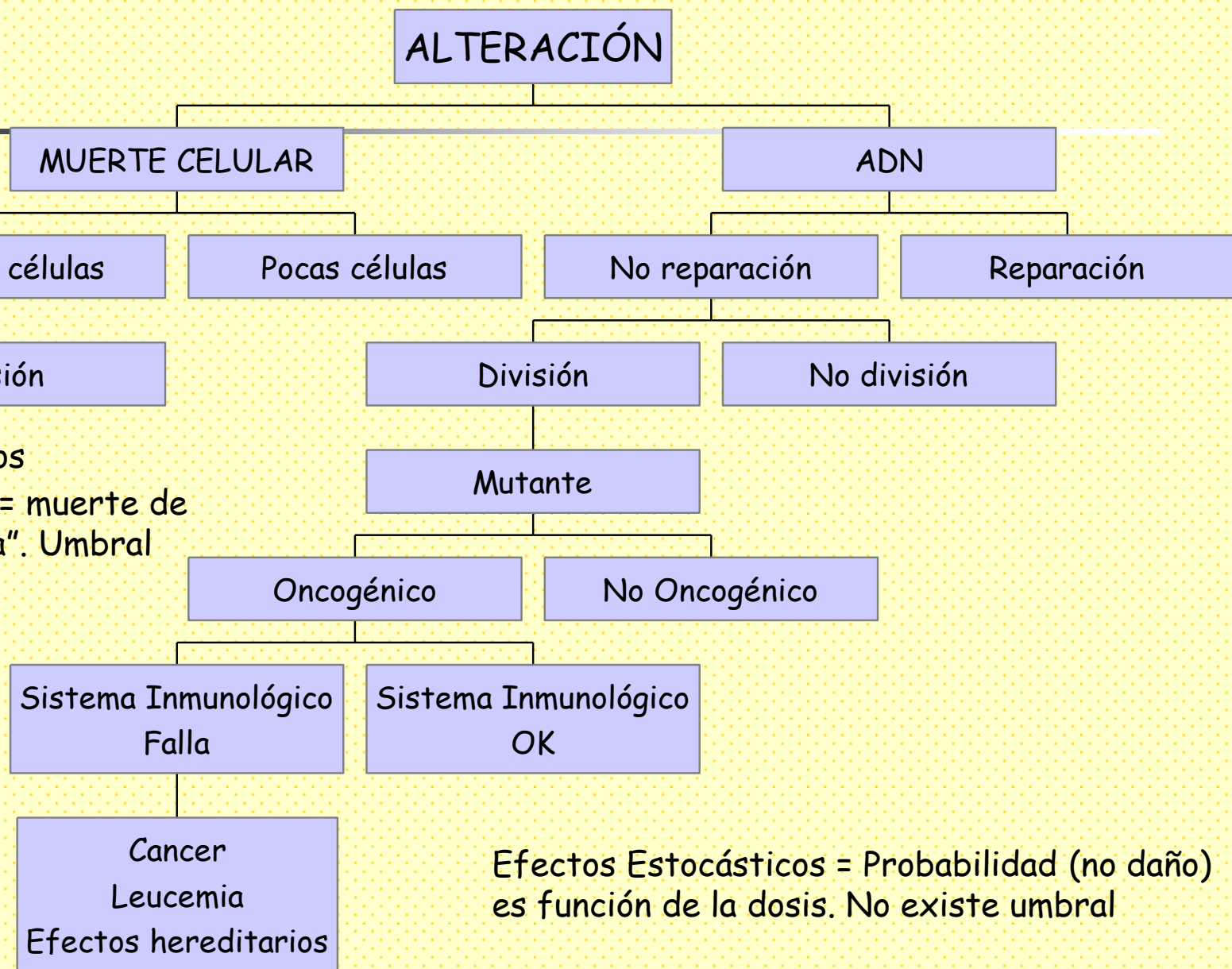
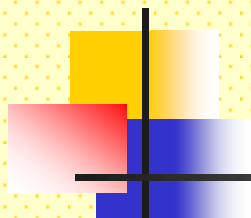
Efectos de la exposición a radiación



Dosis-Respuesta

Respuesta biológica (probabilidad de aparición de efecto) vs. la dosis







Efectos de la exposición a radiación

Factores que influyen la respuesta

❖ Físicos

- a) transferencia de energía alta → daño grave
- b) temperatura
- c) fraccionamiento (dosis fraccionada, produce menor efecto)

❖ Químicos

- a) presencia de oxígeno
- b) radioprotectores (sustancias que disminuyen la radiosensibilidad)

❖ Biológicos

- a) actividad mitótica, más divisibilidad → más daño
- b) Grado de diferenciación: células menos diferenciadas más sensibles
- c) Grado de vascularización: más vascularizado → más oxígeno, más radiosensibilidad



Radioprotección

Radioprotección

Efectos determinísticos

- Se pueden **evitar** si la dosis **no supera el umbral**
- Para cada **órgano**, **radiación** y **fraccionamiento**

Efectos estocásticos

- **No** se pueden **evitar**
- Cualquier **dosis** genera **riesgo**
- Aún la **radiación natural**
- **2 mSv año**



Radioprotección

Reglas básicas de funcionamiento en cualquier laboratorio

- ❖ No trabaje cuando no hay nadie en el edificio
- ❖ No trabaje solo
- ❖ Asegúrese de conocer las normas de seguridad del lugar
- ❖ Si puede, ensaye el experimento en condiciones menos riesgosas



Radioprotección

Medidas básicas de seguridad radiológica-fuentes no selladas

- ❖ Mantenga buenas condiciones de orden y limpieza
- ❖ Realice la limpieza del laboratorio con elementos de uso exclusivo del mismo
- ❖ No coma, beba, ni fume en el laboratorio
- ❖ No efectue operaciones con la boca. No lleve pipetas, frascos de lavado, ni etiquetas a la boca
- ❖ No introduzca en el laboratorio elementos ajenos al mismo, ni efectue en él otras tareas que las correspondientes al empleo del material radioactivo
- ❖ Trabaje con guantes de látex o descartable
- ❖ No salga del laboratorio con los guantes puestos



Radioprotección

Si hay salpicaduras o derrame de soluciones conteniendo material radioactivo:

- ❖ Coloque **guantes**
- ❖ Recoja el líquido con **papel absorbente**
- ❖ **Monitoree la superficie seca y descontamine en caso que fuera necesario**
- ❖ Si no se puede descontaminar en el momento, **delimite el área contaminada y coloque un letrero de advertencia**
- ❖ **Informe al responsable autorizado para el uso de material radioactivo**



Radioprotección

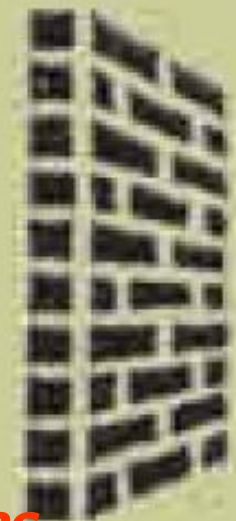
Al salir del Laboratorio

- ❖ Quitese los guantes sin tocar su superficie externa y descártelos. Si las condiciones de trabajo no justificaron el uso de guantes, lávese las manos
- ❖ Monitoree manos, ropas, zona de trabajo y elementos empleados. Si es necesario descontamine
- ❖ No continúe usando el guardapolvo u otro elemento mientras esté contaminado
- ❖ Identifique y almacene, en recipientes adecuados, los residuos radioactivos generados y proceda a su gestión de manera apropiada

Radioprotección

Factores de control en Radioprotección

- ❖ **Tiempo**, en que el individuo permanece en el campo de irradiación.
- ❖ **Distancia**, entre la fuente y el individuo.
- ❖ **Barrera o blindaje**.
- ❖ Medición de las dosis de radiación por la utilización de dosímetros (estimación).



Time, Distance, Shielding (TDS) Rules.



Radioprotección

El concepto ALARA.

Los límites de dosis de radiación y otras restricciones especificados en las regulaciones de la NRC son límites legales que no debe ser superado en ningún momento.

Sin embargo, no deben ser considerados como umbrales por debajo de los cuales la exposición a la radiación no es motivo de preocupación.

Aunque los riesgos asociados o los límites especificados en la normativa son muy pequeños, no se asume que por debajo de los mismos se esté totalmente libre de riesgos, y cualquier técnica razonable para reducir la dosis de radiación puede tener potencial beneficios a largo plazo.



Efectos de la exposición a radiación

Filosofía operativa: el objetivo de las prácticas de seguridad radiológica no debe ser simplemente mantener la radiación dosis dentro de los límites legales, sino mantenerlas tan baja como sea razonablemente posible.

ALARA: "tan bajo como sea razonablemente posible» teniendo en cuenta el estado de la tecnología y la economía de la mejora en relación con los beneficios para la salud y seguridad pública y otras consideraciones sociales y socioeconómicas en relación con el uso de lo energía nuclear en el interés público

El concepto ALARA ha sido durante mucho tiempo el objetivo operacional de las prácticas de seguridad radiológica en laboratorios de Medicina Nuclear bien administrados y ha tomado fuerza como medida reglamentaria.

El principio ALARA se aplica tanto al manejo de fuentes radiactivas, como al almacenamiento y técnicas de blindaje, y al diseño, construcción y disposición del laboratorio como las normas de seguridad y buen manejo antes mencionadas.



Efectos de la exposición a radiación

Ejemplo: diseño de laboratorio

Además de atención a cuestiones como presión negativa relativa del aire en los laboratorios que emplean materiales radiactivos volátiles o gaseosos y disponibilidad de una campana de humos con su propio sistema de escape para almacenamiento de estos materiales se debe considerar: .

1. Laboratorios «calientes» y áreas de almacenamiento radiactivo deben estar ubicado lejos de otras áreas de trabajo, corredores públicos, oficinas de secretaría, etc., y lejos de las salas de imágenes y de conteo de bajo nivel.
2. Las superficies de trabajo y los pisos deben ser construidos utilizando materiales suaves, no absorbentes y libres de grietas y hendiduras.
3. Los bancos de trabajo deben ser suficientemente Robusto para soportar el blindaje de plomo.



Efectos de la exposición a radiación

4. Los lavamanos y duchas deben estar convenientemente disponible donde se manipule material radiactivo no sellado. Es deseable que puedan ser operados con el pie o el codo.
5. El diseño del laboratorio debe permitir el almacenamiento separado de herramientas (por ejemplo, pinzas, dispositivos de agitación) no utilizados con materiales radioactivos para evitar contaminaciones innecesarias o mezcla con elementos similares.

Disposición final de los residuos:

- Diluir y dispersar (para bajas actividades). De acuerdo a ALARA, no debe emplearse si hay otras alternativas.
- Almacenar y dejar decaer (para vidas medias cortas, no mucho mayores a un mes).
- Concentrar, fijar y enterrar (para residuos de vida media muy larga es prácticamente la única alternativa).