

LA RADIOACTIVIDAD  
NATURAL  
Y LOS MINERALES  
RADIOACTIVOS

Dr. C. Menor-Salván

Escuela de Minas UPM

Madrid-Abril 2013



# Todo es radiactivo.

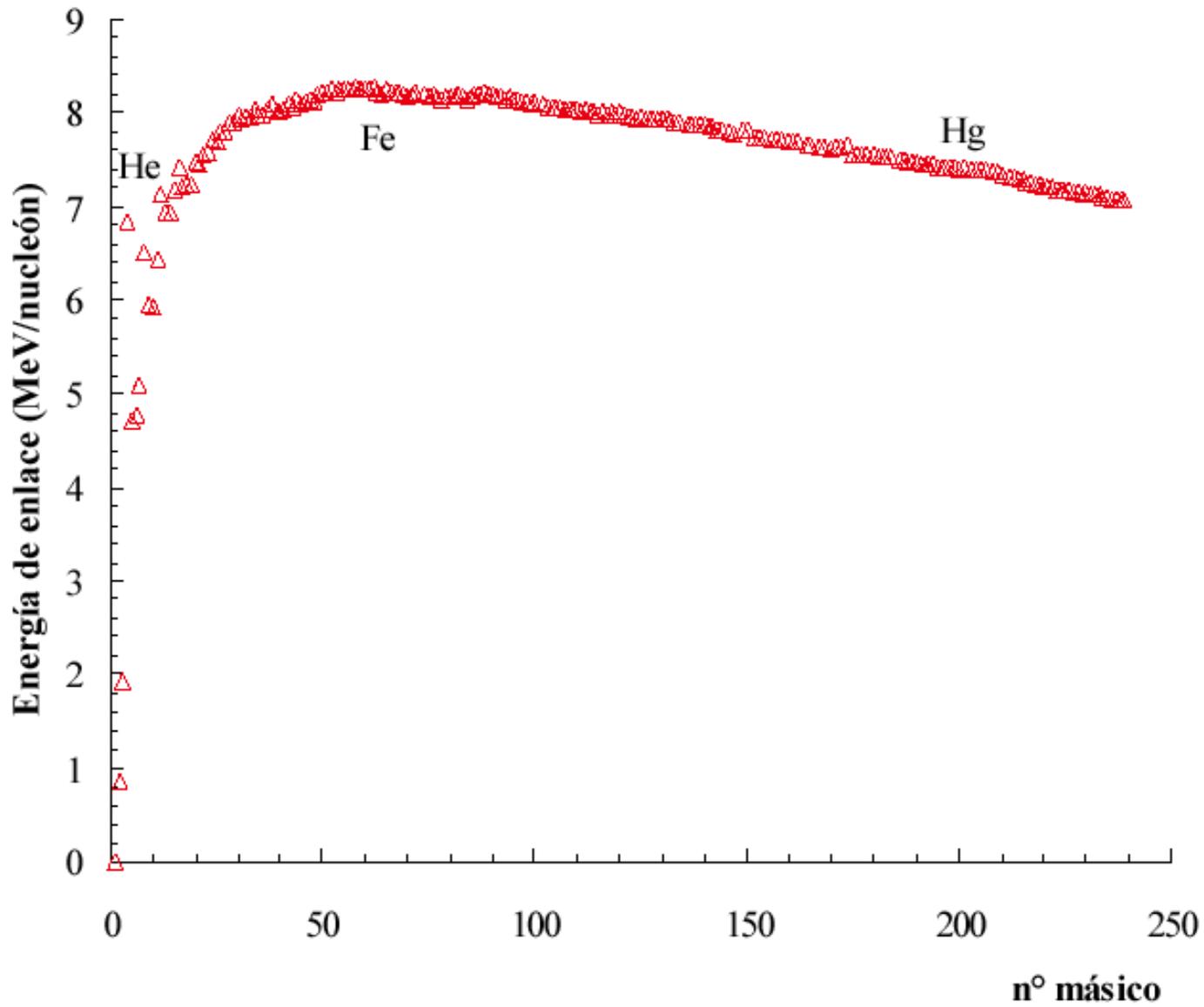
Cada hora 30.000 átomos radiactivos  
irradian los pulmones  
(fumadores: 100000-1000000 veces  
mas\*)

Ingerimos 15.000.000 de átomos  
radiactivos cada comida.

Cada hora nos bombardean 200  
millones de rayos gamma  
procedentes del suelo, el cemento,  
rocas....

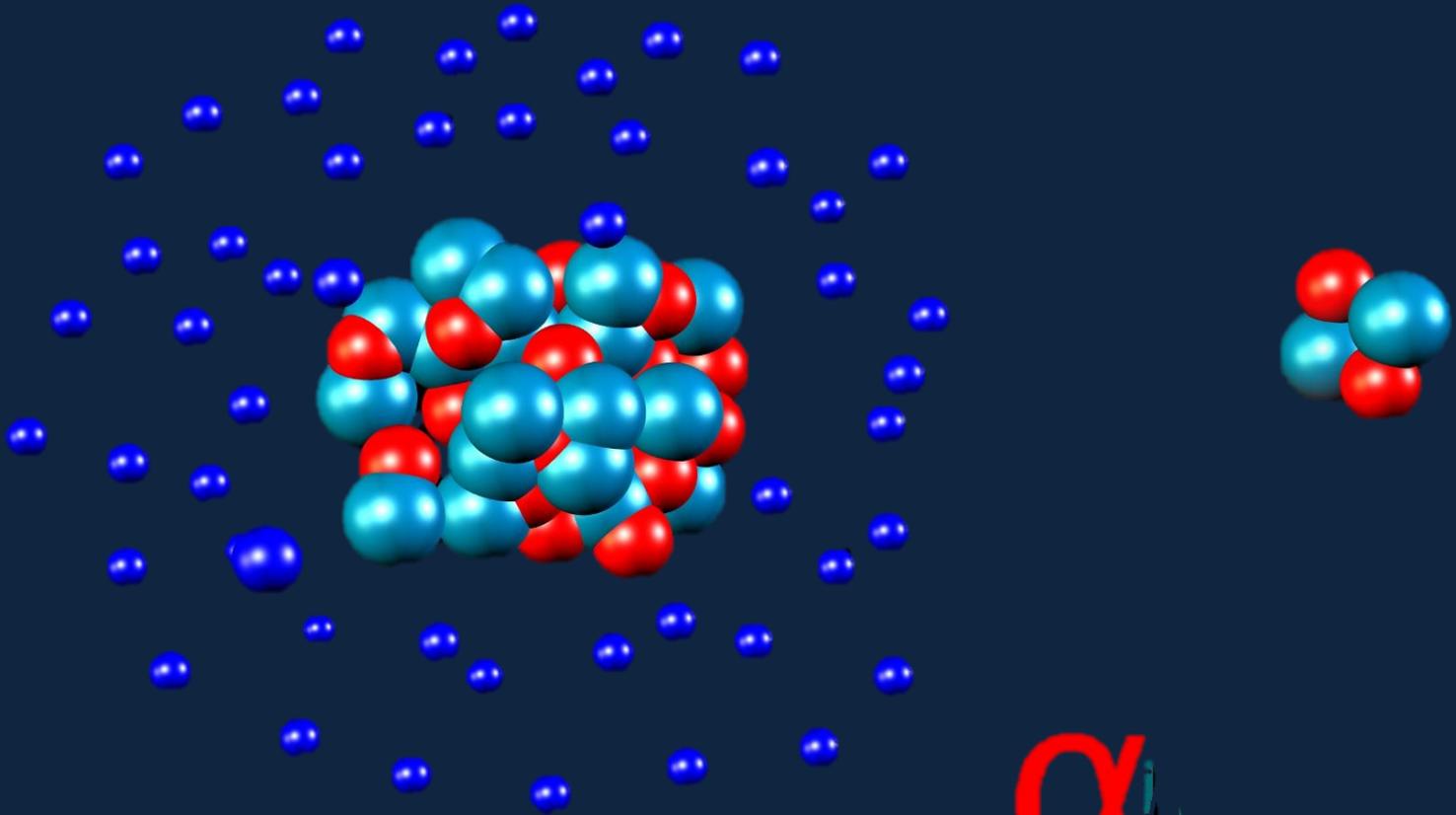


\* 125000 casos anuales de cáncer de pulmón y unos 4000 en no fumadores, debido a radiactividad



YOU'RE GOING  
TO *DIE* OF ALPHA  
RADIATION!  
THERE'S ONLY  
ONE WAY WE  
CAN SAVE  
YOU!





$\alpha$



$^{241}\text{Am}$ ,  $0.2\ \mu\text{g} = 1\ \mu\text{Ci}$

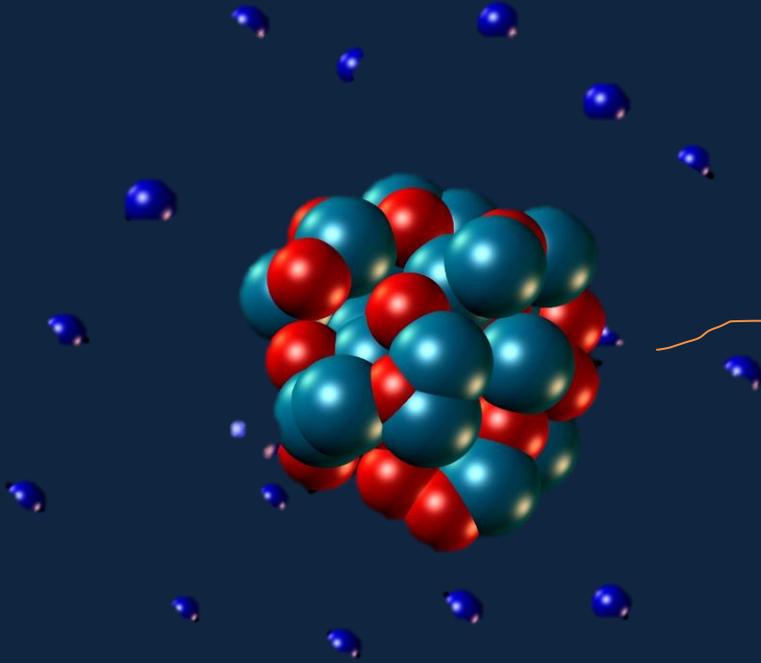
$\alpha$



$^{238}\text{U}$ ,  $1\ \text{g} = 0.33\ \mu\text{Ci}$



Un núcleo con exceso de  
neutrones se estabiliza  
mediante  
 $n \rightarrow p + \text{beta}$

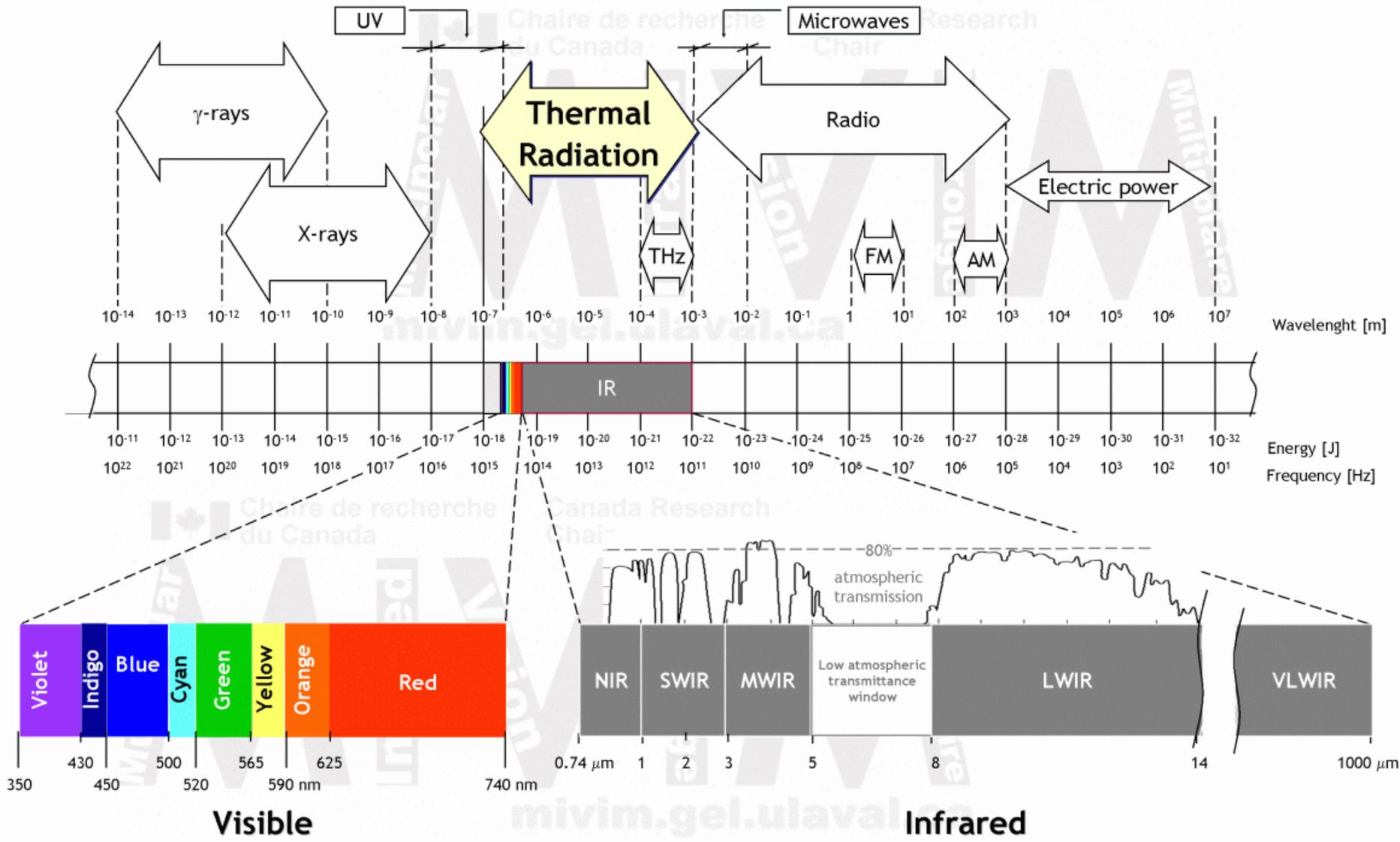


$\beta$



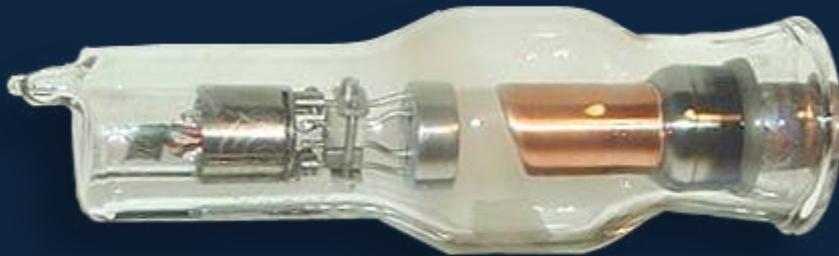


Luz de Cherenkov emitida  
por una fuente de  
cobalto-60 (radiación beta)  
para medicina.

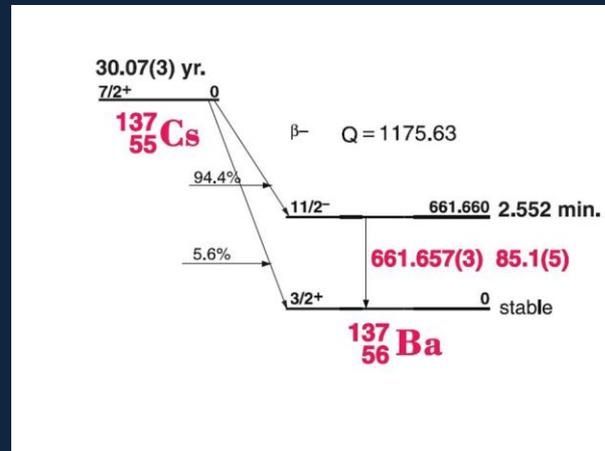
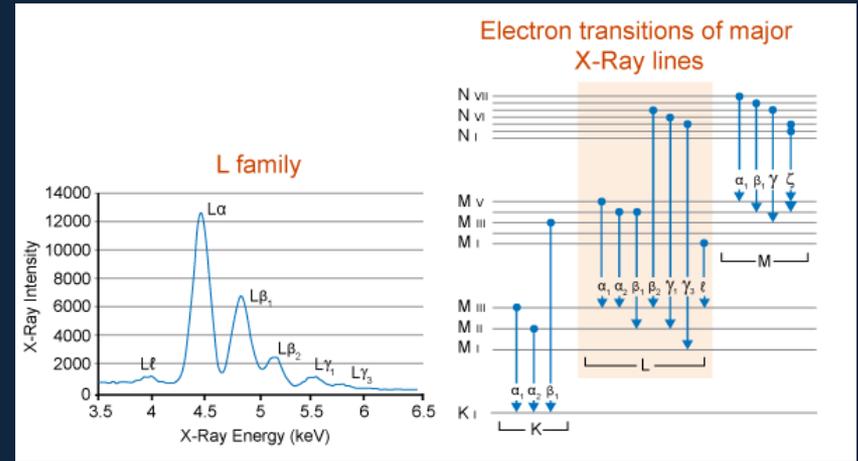


# Diferencia entre Rayos X y Rayos $\gamma$ .

Los rayos X son un fenómeno electrónico  
Energías: 1-100 KeV



Los rayos  $\gamma$  son un fenómeno nuclear  
Energías: 10-5000 KeV



# Cómo se mide la radiactividad.

**Curio (Ci):** actividad de 1 gramo de Radio-226

1 Ci equivale a  $2,2 \times 10^{12}$  dpm. 1  $\mu\text{Ci}$  equivale a 37000 becquerelios (Bq)

Cuenta por minuto (cpm): dpm x factor de eficiencia (usualmente el 1%).

1 plátano: 0.003  $\mu\text{Ci}$

1 T de granito: 2-20  $\mu\text{Ci}$

1 cuerpo humano: 0.11  $\mu\text{Ci}$

1 Kg de fertilizante: 0.1-1  $\mu\text{Ci}$

1 mineral de colección: 0.001-0.5  $\mu\text{Ci}$

1 mineral de uranio de colección: 0.1-2  $\mu\text{Ci}$

Aire de una casa de 100 m<sup>2</sup> en

Madrid (no fumador): 1  $\mu\text{Ci}$

Detector de humo: 1  $\mu\text{Ci}$

Radioterapia: 2700000000  $\mu\text{Ci}$

# Cómo se mide la radiactividad.

1 g de uranio natural:  
0.68  $\mu\text{Ci}$



1 g de cobalto para  
radioterapia:  
1100000000000  $\mu\text{Ci}$



1 g de plutonio para  
armamento nuclear:  
620000  $\mu\text{Ci}$



# Cómo se mide la **radiactividad**.

Periodo de semidesintegración ( $\lambda$ ):

Tiempo necesario para que la actividad de una muestra se reduzca a la mitad.

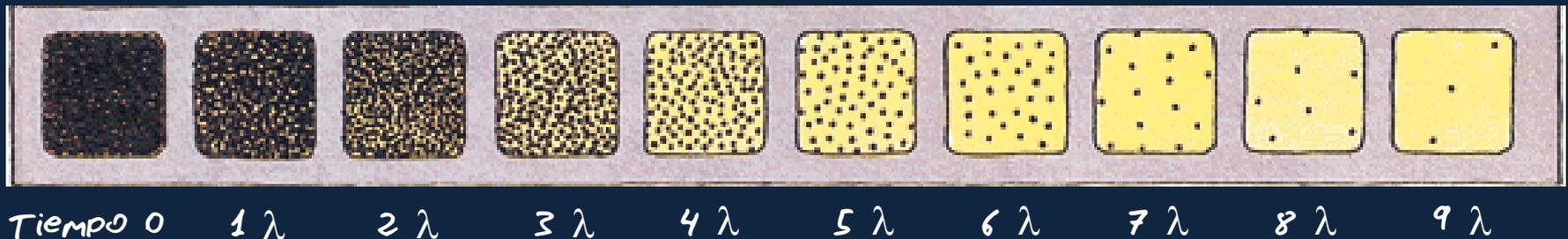
**$^{226}\text{Ra}$**  : 1600 años

**$^{238}\text{U}$**  :  $4.47 \cdot 10^9$  años

**$^{241}\text{Am}$**  : 432 años

*Half life* en ingles. No confundir con semivida!

Después de 10 periodos de semidesintegración, la actividad se reduce a la milésima parte



# Cómo se mide la radiactividad.

Dosis equivalente y Tasa de dosis:

Define la dosis de radiactividad absorbida por materiales biológicos, ponderando el riesgo biológico de cada tipo de radiación.

Se mide en Sieverts (Sv, dosis) y en Sieverts/hora (Sv/h, tasa de dosis)

Fondo Madrid: 0.10-0.25  $\mu\text{Sv/h}$

Viajar en avión: 1.5-5  $\mu\text{Sv/h}$

Dosis inocua < 2.5-7.5  $\mu\text{Sv/h}$

Dosis de alarma > 25  $\mu\text{Sv/h}$

Dosis letal > 2000000  $\mu\text{Sv/h}$

Fumadores: 18  $\mu\text{Sv/h}$

Mi colección de minerales  
radiactivos 1.4  $\mu\text{Sv/h}$

Dosis natural anual: 3000  $\mu\text{Sv}$

1 radiografía: 200-400  $\mu\text{Sv}$

Dormir con alguien: 0.05  $\mu\text{Sv}$

Comer un plátano: 0.1  $\mu\text{Sv}$

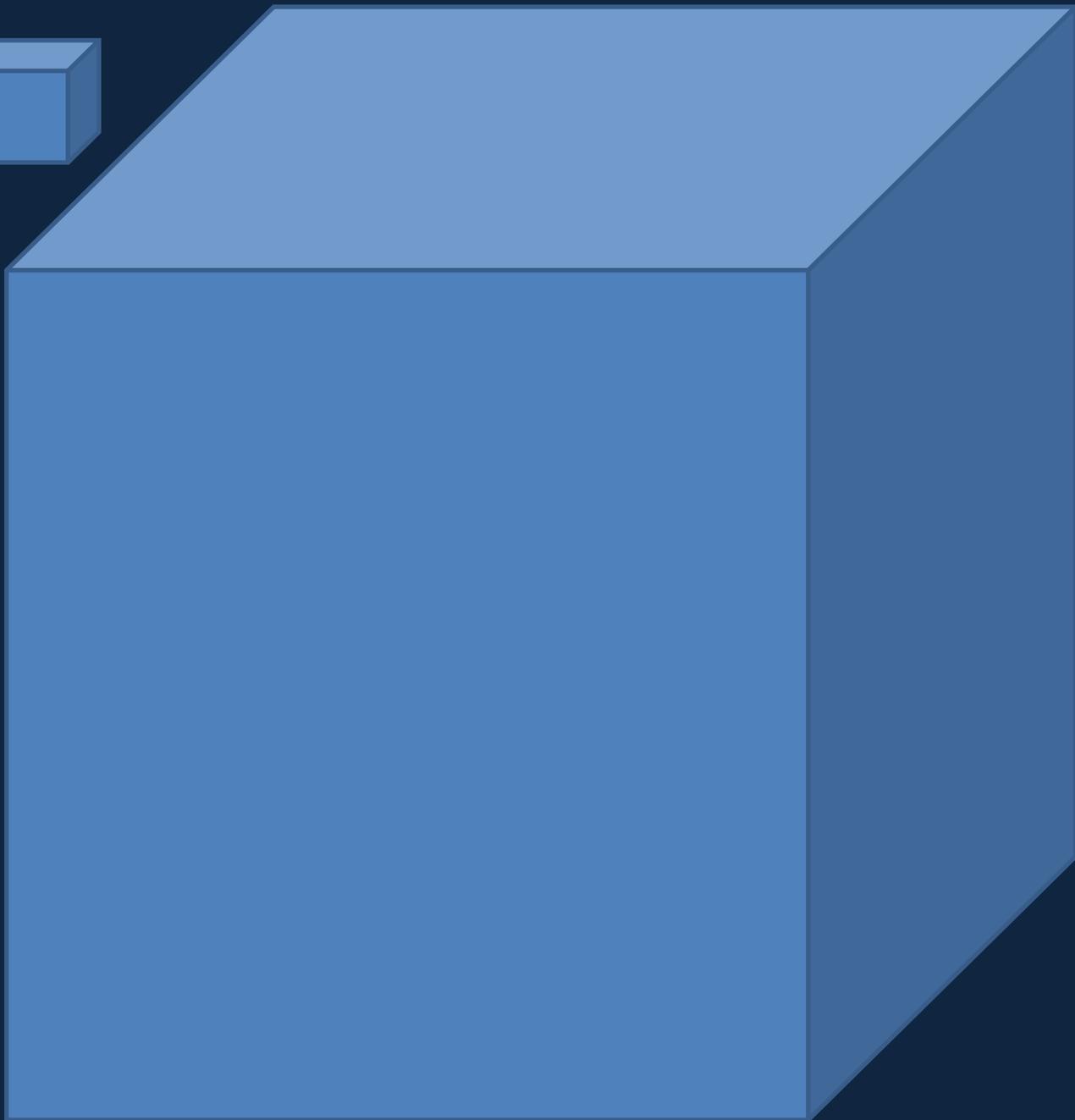
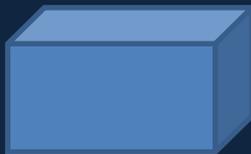
Un día en la Sierra: 1.2-3  $\mu\text{Sv}$

Una hora en la planta de

Chernobyl (2010): 6000  $\mu\text{Sv}$

Una hora en la planta de Chernobyl  
(1986): 3000000000  $\mu\text{Sv}$

# Protección radiológica



Dosis anual media  
de trabajadores  
de la minería y  
procesado de  
uranio

Limite de  
dosis anual  
(publico)  
1 mSv

Limite de dosis  
anual  
(trabajadores)  
20 mSv

Dosis necesaria para  
registrar efectos  
biológicos

Riesgo relativo de diversas actividades comunes:

-Fumar 1,4 cigarrillos

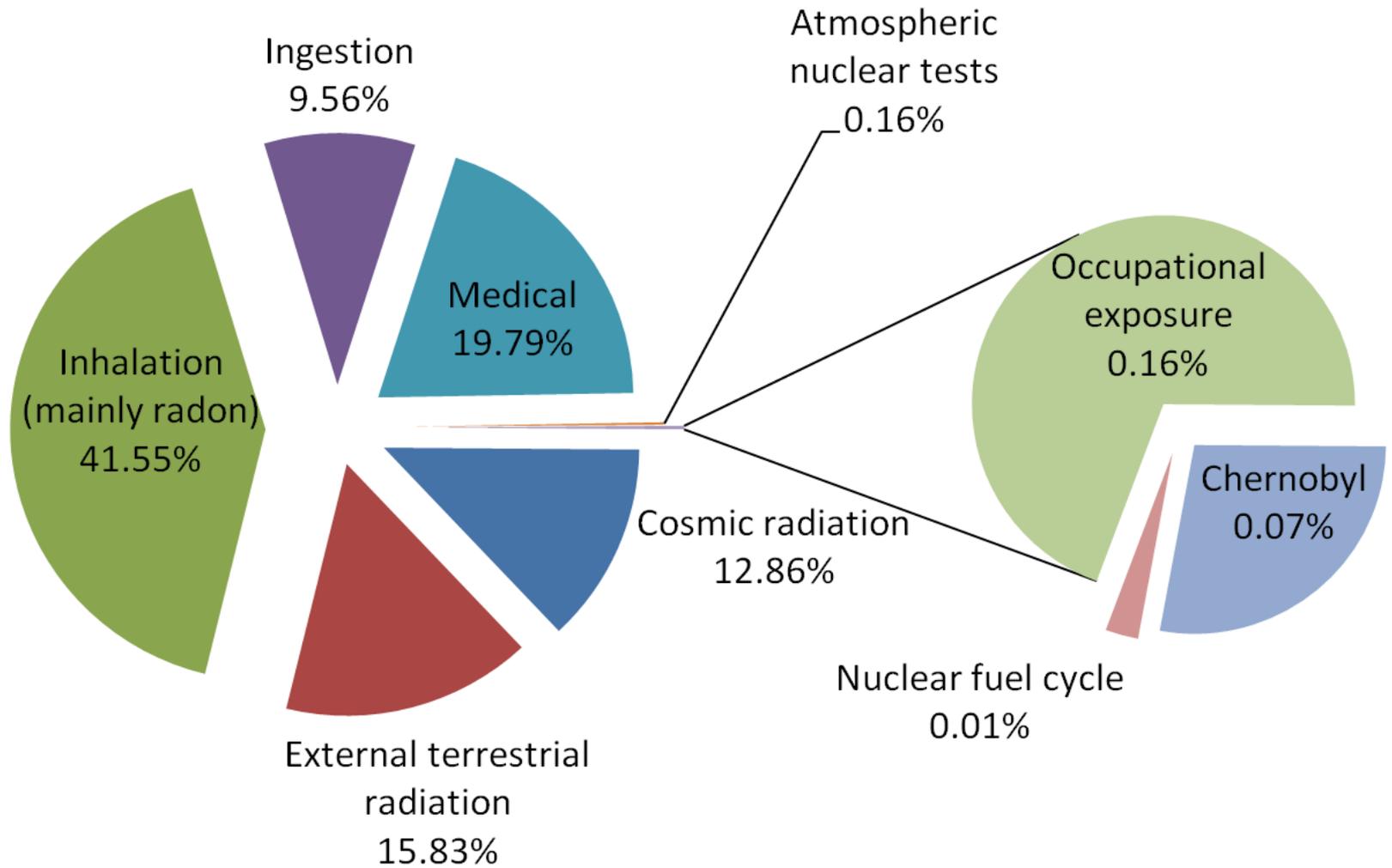
-Comer 40 dosis de mantequilla

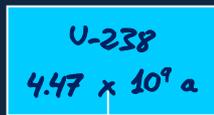
-Conducir 65 km

-Volar 4000 km en avión

-Recibir 0.1 mSv de dosis radiactiva (equivalente a desde 40 a 200 horas de observación continua de minerales radiactivos o 2 radiografías de tórax)

-Fuente: ARPANSA (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency ) y medidas propias (minerales).





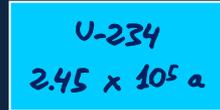
α



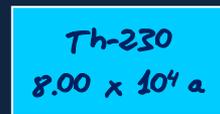
β



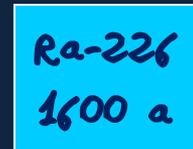
β



α



α



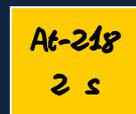
α



α



β



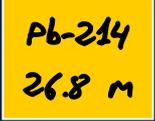
α



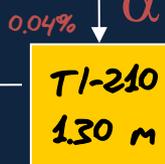
β



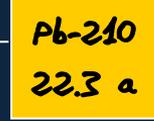
β



99.96% α



0.04% α



β



β

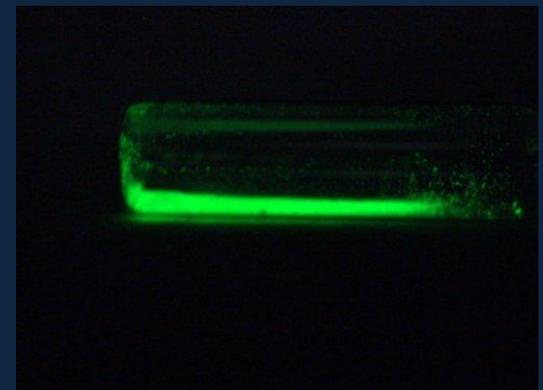


α



# Serie radiactiva del Uranio

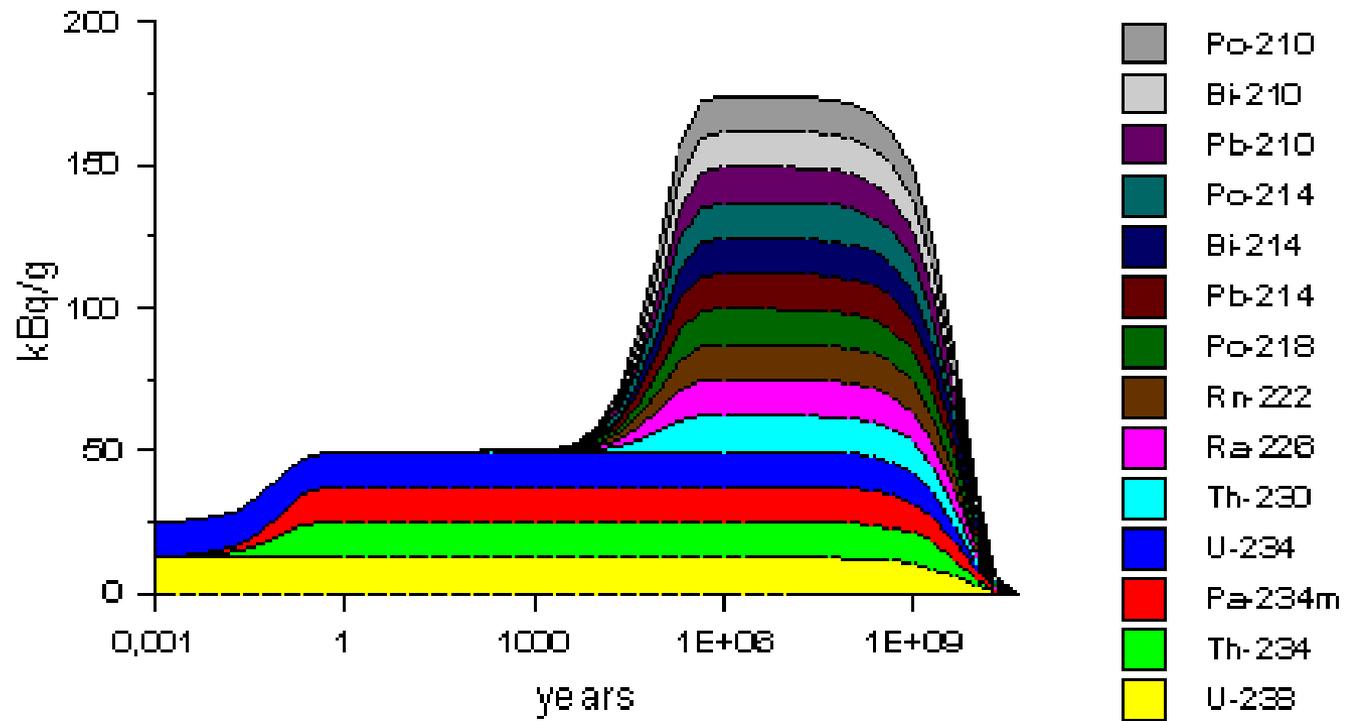
Se representan los núcleos hijos con sus periodos de desintegración y el tipo de radiación que emiten.



# Equilibrio secular

## Natural Uranium Activity

(stacked diagram)



## ¿Es peligroso coleccionar minerales radiactivos?

-NO implica riesgos para la salud o seguridad.

-Se deben seguir las mismas conductas que con cualquier mineral. Sentido común!

-El único riesgo adicional asociado a los minerales de uranio respecto de otros minerales es el **RADÓN**. Una colección extensa de minerales de uranio aumenta los niveles de radón entre 3 y 20 veces.

-Ventilación

-Usad la aspiradora!

-Controles si es posible.

# Cómo se mide la **radiactividad**.

## Aparatos:

### Según el tipo de detector:

Electrómetro

Cámara de Ionización

Contador proporcional

Geiger-Müller

Contador de centelleo

Semiconductores

### Según el uso:

Dosímetros

Monitores

Contadores

Espectrómetros





En 1789 descubre que la pechblenda (uraninita) no es un mineral de zinc, plomo y hierro, sino que contiene un nuevo elemento. Purifica el  $U_3O_8$

Martin H. Klaproth

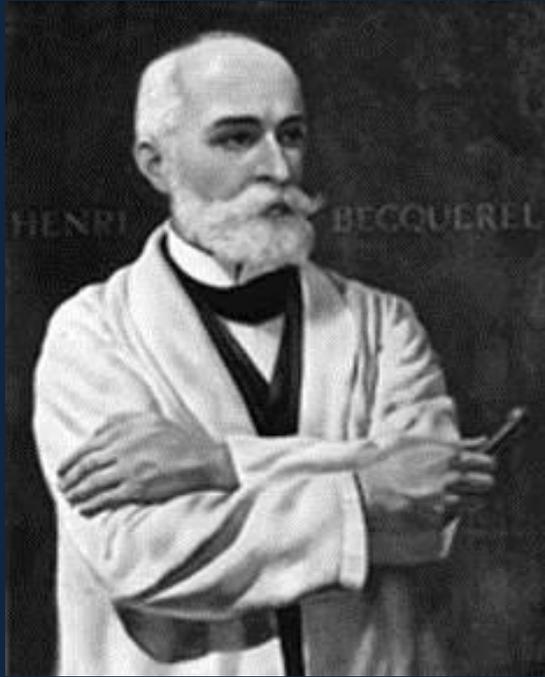


Descubre el uranio metálico en 1841. Aun no se conoce la radiactividad.

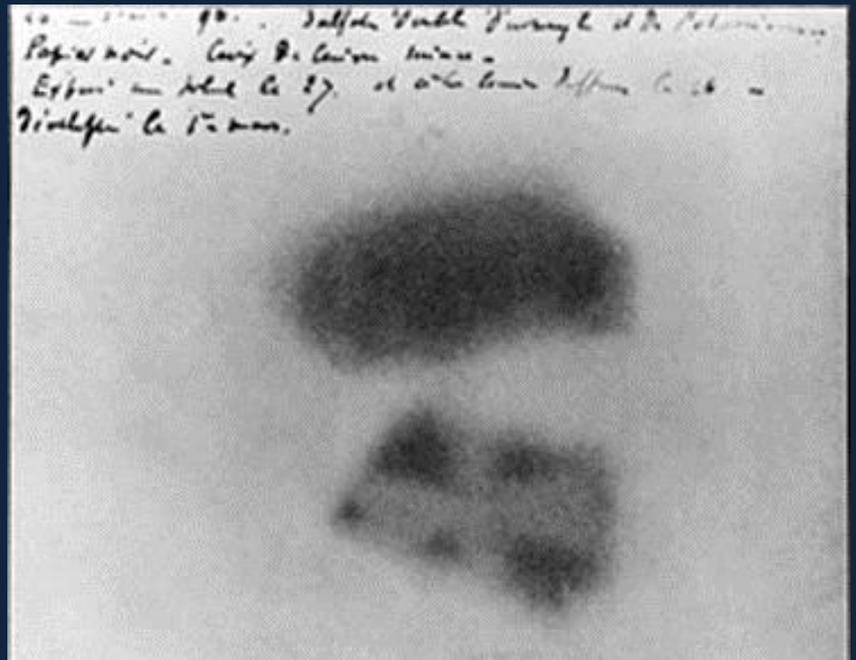
Eugène Peligot



Krytallinischer Natrolith  
auf Klingstein-Porphyr.  
Stohentwiel im Högau.



En 1896 observa que sólo los minerales de uranio (VI) son fluorescentes y/o fosforescentes y que ésta es independiente de la exposición al sol.



Henri Becquerel

Los minerales de uranio (IV) no son fluorescentes ni fosforescentes, sin embargo pueden impresionar una placa fotográfica: sugiere la existencia de "rayos uránicos".

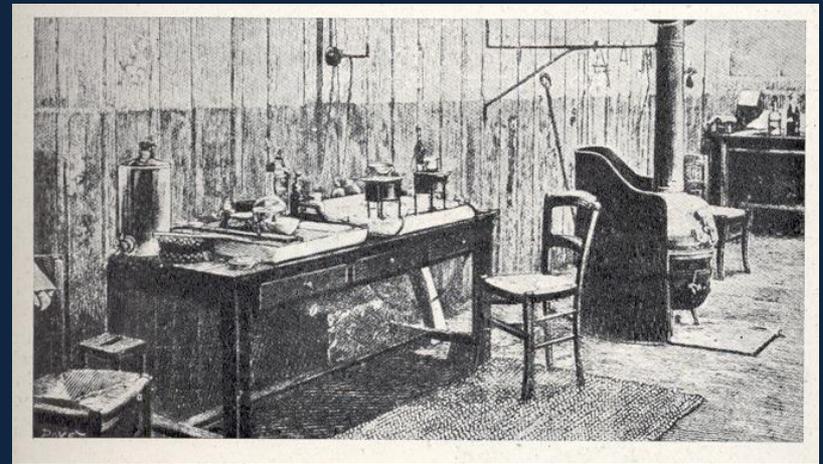


Marie Curie

*En 1898 publica tres notas: El descubrimiento de la radiactividad del torio en sus minerales, el descubrimiento del polonio y el descubrimiento del radio en la uraninita.*

*En 1903 presenta su tesis doctoral:*

*“Era probable que la alta actividad de la uraninita, la torbernita y la autunita fuera debida a la presencia de pequeñas cantidades de sustancias altamente radiactivas diferentes de U, Th o cualquier otro elemento”*



*En 1904, Muñoz del Castillo estudia la torbernita de Colmenar Viejo, descubriendo que es mucho más radiactiva que lo esperado por su contenido en uranio y sugiere, ignorando el trabajo de Curie, que la torbernita “contiene sustancias desconocidas más radiactivas que el uranio”*

En 1905-1907 descubre que el radio procede de la desintegración del uranio

“La cantidad de radio presente en minerales de uranio es directamente proporcional a la cantidad de uranio contenida en el mineral. Parece que el radio se forma por ruptura del átomo de uranio”

Bertram Boltwood

Descubre que el uranio está presente en muchos minerales, como zircon o monacita. Descubre el plomo radiogénico e inventa la datación de rocas y minerales por medida de la proporción entre el uranio y el plomo, revolucionando la geología.



# Minerales radiactivos

1

## Elementos radiactivos naturales

-Indio-115 (95% del In natural)		$4.4 \times 10^{14}$ años
-Rubidio-87 (27% del Rb natural)		$4.4 \times 10^{14}$ años
-Osmio-186 (1,6% del Os natural)		$2.0 \times 10^{15}$ años
-Renio-187 (26% del Re natural)		$6.6 \times 10^{10}$ años
-Lutecio-176 (2.59% del Lu natural)		$3.8 \times 10^{10}$ años
-Potasio-40 (0.1% del K natural)		$1.25 \times 10^9$ años
-Uranio (y progenie)	(238)	$4.46 \times 10^9$ años
-Torio (y progenie)	(232)	$1.41 \times 10^{10}$ años
-(Plutonio, Neptunio)		
-Cosmogénicos (carbono-14, tritio, berilio-10)		



Minerales y rocas que pueden ser radiactivos ( $>83$  ppm U o  $>0.0002 \mu\text{Ci/gr } ^{238}\text{U}$ ):

Granito, pegmatitas, carbón, fosforitas, apatito, aragonito, fluorita, minerales de titanio, minerales de tierras raras, magnetita, arcillas,...

## El uranio en la naturaleza: Minerales de uranilo ( $UO_2^{2+}$ )



Deliensita. Mina "El Lobo" (Don Benito)

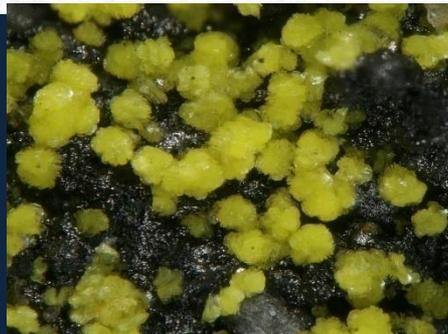
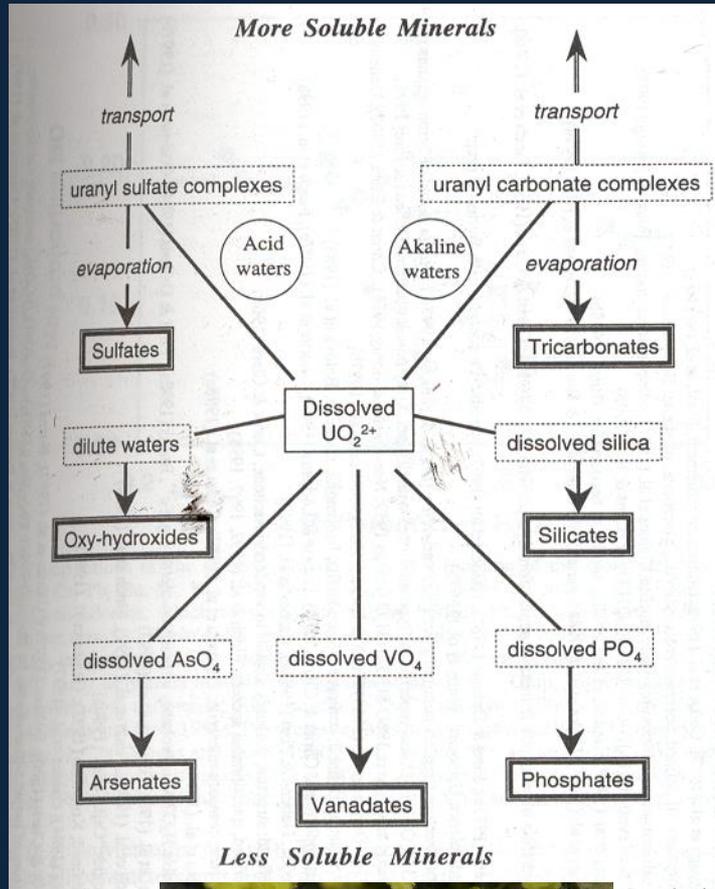


Becquerelita. Shinkolobwe (Zaire)

Foto: J.M. Johannet



Zeunerita. Chóvar (Castellón)



Tyuyamunita. Mina Monument (AZ, USA).



Boltwoodita. Mina "Rossing" (Namibia)



Salecita. Mina "Fe" (Ciudad Rodrigo).



Torbernita. Oliva de la Frontera (Badajoz).

## Clasificación de los yacimientos de URANIO

### -Depósitos asociados a rocas ígneas

- Depósitos asociados a granitos, incluyendo sistemas filonianos epitermales. Muy extendidos en el dominio Hercínico español. Ej.: Indicios en la Sierra de Guadarrama (secundarios intragraníticos), Albalá (Cáceres, uraninita masiva), Mina “La Virgen”, Andújar (Jaen, asociado a sulfuros de cobre)
- Pegmatitas y aplitas. Indicios en la sierra de Guadarrama, yacimientos de uranio de la Sierra Albarrana. Mina “N<sup>a</sup> Sra. Assunção” (Portugal)
- Depósitos epigenéticos: Skarn de Burguillos del Cerro

### -Depósitos asociados a rocas metamórficas

- Sinmetamórficos masivos: Pizarras uraníferas de Salamanca y Badajoz.
- Filones en rocas metamórficas: “La Cabra Baja” (Villanueva del Fresno, Badajoz), “La Cabra Alta” (Monesterio), Cardeña (Córdoba)
- Epigenéticos: Depositos peribatolíticos de Salamanca (Saelices, Villar de la Yegüa, Villavieja de Yeltes...), Cáceres (Albalá), Badajoz (Don Benito).

## Clasificación de los yacimientos de minerales radiactivos

### -Depósitos asociados sedimentos o cuencas sedimentarias

- Asociados a lignitos.

- Depósitos en arenisca tipo “*Colorado Plateau*” (mina “Eureka”, Lérida)

- Placeres (Thorianita y monacita-Ce en arroyo Fresnedoso, Cáceres; Uraninita y minerales de REE en el río Segre o La Nava de Jadraque, Guadalajara)

- Depósitos superficiales o formados por aguas meteóricas (Pantoja, Toledo; Mazarete, Guadalajara)

  - Epigenéticos (Paracuellos del Jarama, Madrid; Córcoles, Guadalajara)

Clasificación simplificada desde Arribas A., *Studia Geologica IX* (1975) y Plant J.A. y cols., *Reviews in Mineralogy N°38* (1999)

Depósitos asociados a rocas metamórficas:

## Mineralizaciones del Complejo Esquisto-Grauvaquico: Tipo Salamanca.

-Mineralización peribatolítica. Minerales de uranio rellenan brechas de falla y filones de potencia centimétrica a decimétrica encajados en la formación metasedimentaria paleozoica CEG. El mineral primario es coffinita y uraninita.

-Origen del mineral: lixiviación de U contenido en la materia orgánica de pizarras ampelíticas debido a fluidos hidrotermales durante la orogenia Alpina, y depositado en brechas y fracturas de los esquistos.



Dewindtita. Mina "Esperanza" (Villar de la Yegüa).

Saléeita, Villavieja de Yeltes (Salamanca) © C. Menor-Salvan



Saléeita. Mina "Caridad" (Villavieja de Yeltes).



Sabugalita. Mina "Fe" (Ciudad Rodrigo).

Depósitos asociados a rocas metamórficas:

### Mineralizaciones del Complejo Esquisto-Grauvaquico: Tipo La Serena.

- Minerales primarios poco frecuentes, debido a una intensa alteración supergénica
- Mineralización peribatolítica encajada en pizarras ampelíticas y esquistos (similitud con Salamanca)
- Venas y bolsadas en la aureola de metamorfismo en el contacto entre el granito La Haba y los metasedimentos encajantes (diferencia con Salamanca)



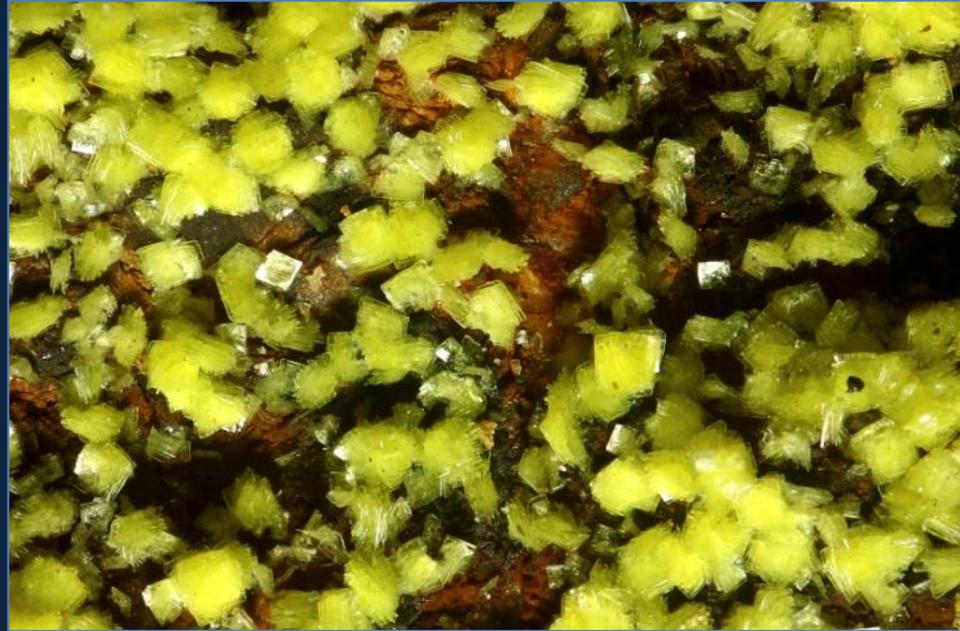
Deliensita y  
rabejacita.  
Mina "El Lobo".

*Sabugalita. Mina "El  
Lobo".*

Depósitos asociados a rocas metamórficas:

**Mineralizaciones del Complejo Esquisto-Grauvaquico: Tipo La Serena.**

- Fuerte alteración de las rocas da lugar a una importante paragénesis de minerales secundarios.



*Saléeita. Mina "El Pedregal".*



*Saléeita. Mina "El Lobo".*



Torbernita. Mina "El Lobo".



Rabejacita. Mina "El Lobo".

## Depósitos asociados a pegmatitas: Minas de uranio de Sierra Albarrana (Córdoba)

- Minerales primarios: uraninita, brannerita, monacita, ilmeneo-rutilo y rutilo.
- La formación y abundancia de brannerita esta condicionada por los óxidos de titanio. Caso único en la península ibérica.
- Paragénesis secundaria menos abundante, dominada por uranocircita, schoepita y “gummitas”



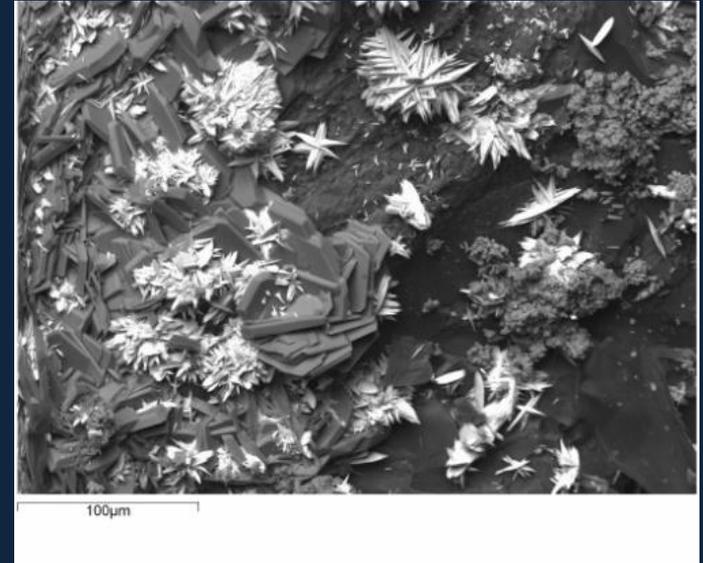
*Uranocircita. Mina "Diéresis".*



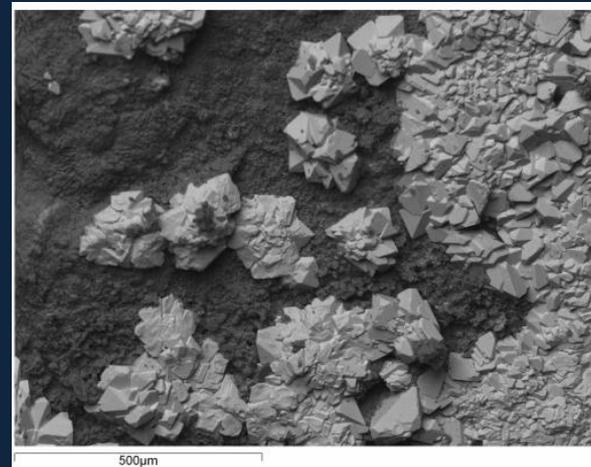
*Xenotime-γ. Mina "La Coma", El Cabril*

## Depósitos sedimentarios en areniscas: Mina Eureka, La Plana de Mont-Ros (Vall Fosca, Lérida)

- Formado por reducción de fluidos cargados de U(VI) por materia orgánica y actividad bacteriana.
- Minerales primarios: coffinita, uraninita y “carburano”
- Similitud con los yacimientos en arenisca de Colorado (USA) y mina “Monument” (AZ, USA)
- Paragénesis secundaria muy variada.
  - Vanadatos: aporte de vanadio complejo en materia orgánica (carnotita, tyuyamunita, sengierita)
  - Silicatos: uranofana
- El hombre como agente geológico: formación de sulfatos y carbonatos tras la actividad minera (zippeita, andersonitanatrozippeita, johannita, cejkaita)



*Johannita y zippeita sobre  
ktenasita.*



*Andersonita*

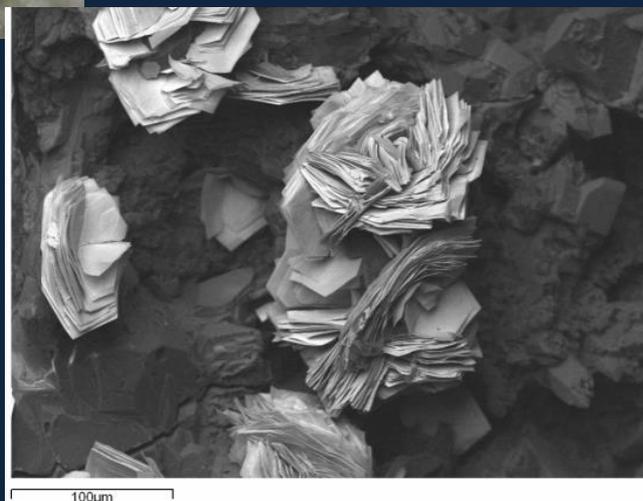


Tyuyamunita. Mina Eureka



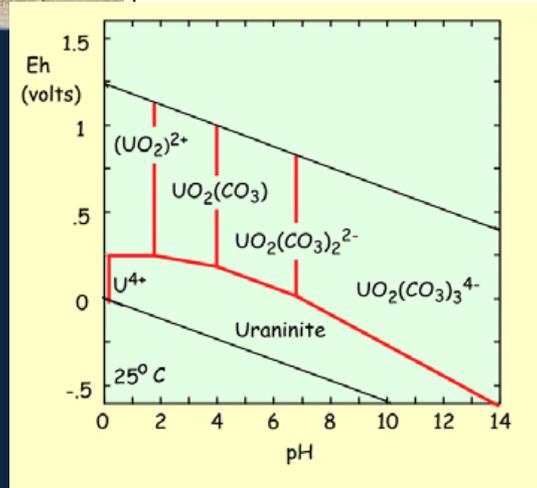
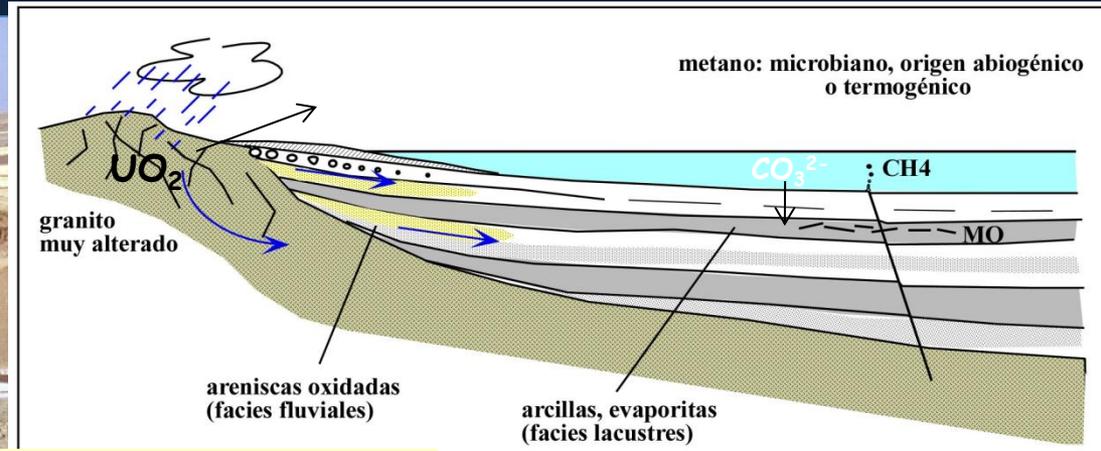
Uranofana. Mina

Eureka



100µm

## Depósitos sedimentarios formados por aguas superficiales: Arcillas de Pantoja (Toledo)



- Concentración de uranio en aragonito: 200 a 1000 ppm.
- Medidas de  $\delta^{13}\text{C}$  compatibles con el modelo.
- Complejos urano-orgánicos en las arcillas grises.
- Origen de vacuolas: ¿nódulos evaporíticos? ¿metanogénesis?

## Depósitos sedimentarios epigenéticos formados por meteorización: Paracuellos del Jarama (Madrid) y Córcoles (Guadalajara)

-Geomicrobiología del uranio es determinante:

-Fijación sinsedimentaria del U (VI) circulante y removilización de complejos orgánicos de uranio y vanadio.

-Formación episedimentaria de vanadatos de uranio (Tyuyamunita y Carnotita mayoritarias)

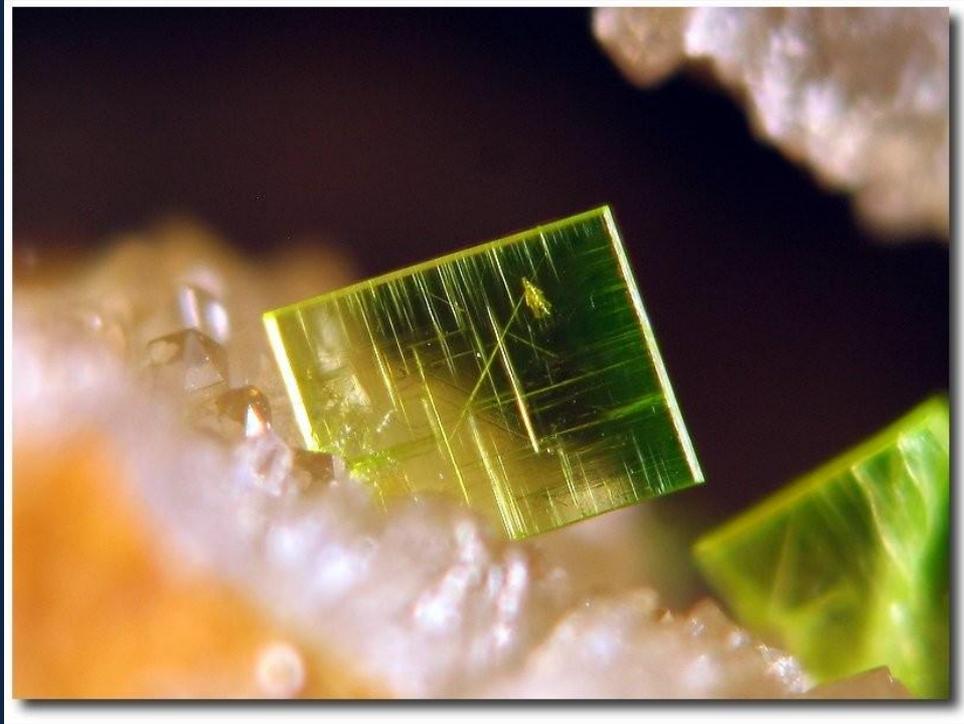


*Muela de mamut fosilizada por tyuyamunita  
(Córcoles, Guadalajara)*



*Tyuyamunita en forma  
de agregados fibroso-  
radiados o en forma  
terrosa (Paracuellos  
del Jarama, Madrid)*

# Todo es radiactivo.



La clave es:

- Cuanto (dosis, actividad)
- Que (isotopos, tipos)
- Cómo (irradiación interna, externa, distancia, tiempo...)