

Métodos de Fechamientos radio-isotópicos de rocas y otros materiales

Cecilia Caballero Miranda

Métodos radio-isotópicos

Base física: Decaimiento radiactivo

Antecedentes

- Bequerel, 1895 = radiactividad
- Bottwood, 1870-1921 = aplicación como reloj geológico (teoría)
- 1950 = invento del Espectrómetro de Masas, posibilidad de convertir la teoría en realidad.

Conceptos básicos

- Isótopo
- Decaimiento radiactivo
- Vida media

Isótopos

Isótopo: Átomos de un mismo elemento (igual #Atómico)
que tienen \neq masa A (Σ Prot+Neutr)

Estables

^1H , ^2H ; ^{16}O , $^{17,18}\text{O}$; ^{12}C , ^{13}C ; N, ^{32}S , $^{33,34,35,36}\text{S}$

Inestables

se desintegran: decaen de uno a otro,
emitiendo partículas o radiación electromagnética,
con una constante de decaimiento

radioactivo - radiogénico

padre - hijo

Isótopos más abundantes de los 15 elementos más comunes en la Tierra

${}^1\text{H}$	1 99.99	2 0.01	3 trace	${}^{12}\text{Mg}$	24 76.7	25 10.1	26 11.2	${}^{18}\text{Ar}$	36 0.3	38 0.06	40 99.6			
${}^6\text{C}$	12 98.9	13 1.1	14 trace	${}^{13}\text{Al}$	27 100			${}^{19}\text{K}$	39 93.1	40 0.01	41 6.9			
${}^7\text{N}$	14 99.6	15 0.4		${}^{14}\text{Si}$	28 98.2	29 4.7	30 3.1	${}^{20}\text{Ca}$	40 97.0	42 0.5	43 0.1	44 2.1	46 0.01	48 0.2
${}^8\text{O}$	16 99.8	17 0.04	18 0.2	${}^{16}\text{S}$	32 95.0	33 0.8	34 4.2	36 0.01	${}^{26}\text{Fe}$	54 5.8	56 91.7	57 2.2	58 0.3	
${}^{11}\text{Na}$	23 100			${}^{17}\text{Cl}$	35 75.5	37 24.5		${}^{28}\text{Ni}$	58 67.8	60 26.2	61 1.2	62 3.7	64 1.1	

Isótopos estables ■ ■ ■ inestables ■

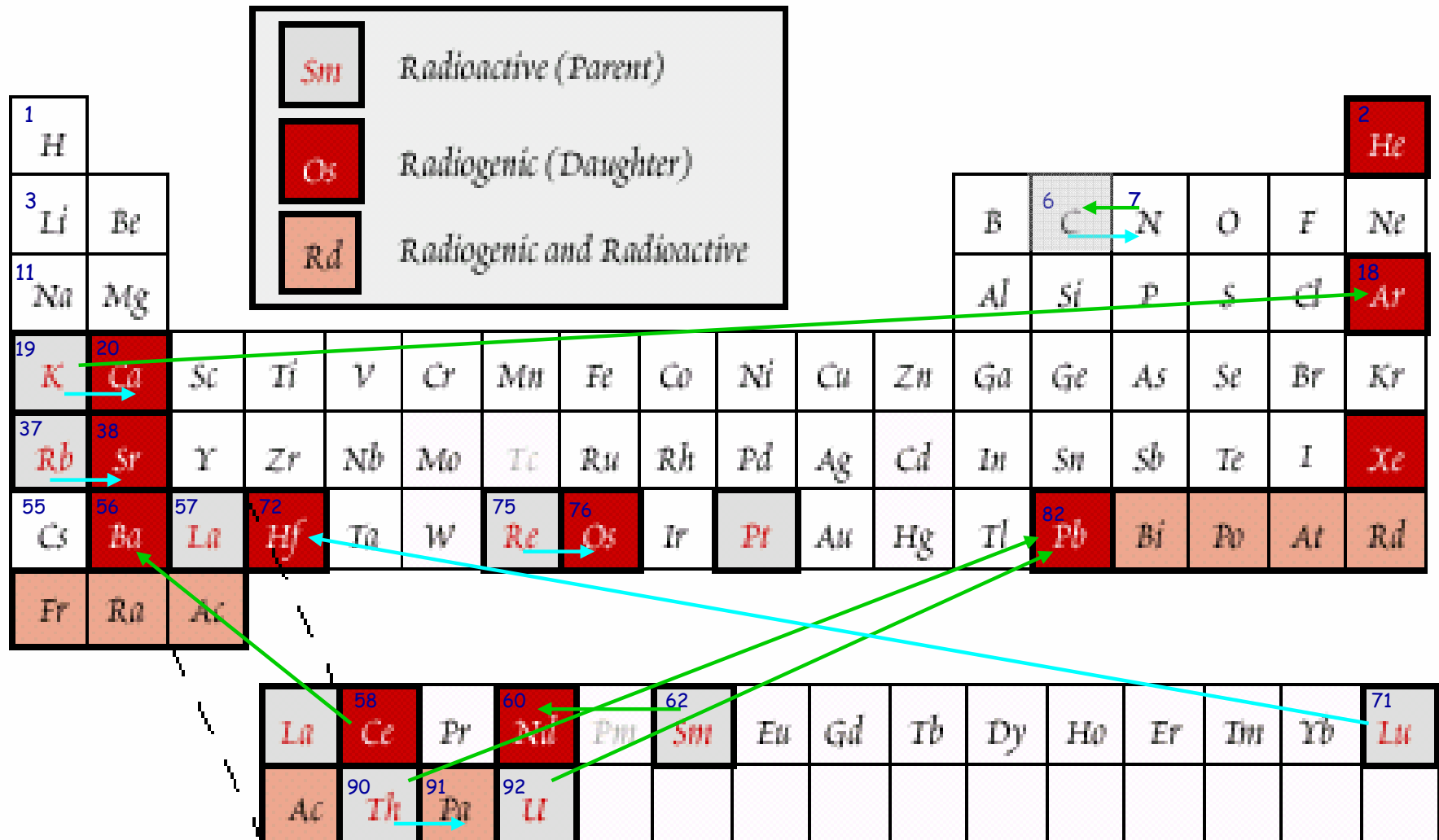
Isótopos de los 5 elementos mas empleados en fechamientos de materiales terrestres

Diagrama de isótopos de los elementos 37Rb, 38Sr, 82Pb, 90Th y 92U. Los isótopos estables están representados por cuadros de color marrón claro, y los inestables por cuadros de color gris. Las flechas verdes indican relaciones de desintegración: una flecha apunta desde el isótopo 87Rb hacia el 87Sr, y tres flechas apuntan desde los isótopos 232Th, 235U y 238U hacia los isótopos 208Pb, 207Pb y 206Pb respectivamente.

^{37}Rb	85 72.2	87 27.8	-	
^{38}Sr	84 0.5	86 9.9	87 7.0	88 82.6
^{82}Pb	204 1.5	206 23.6	207 22.6	208 52.3
^{90}Th	232 100	-	-	-
^{92}U	234 0.01	235 0.72	238 99.27	-

Isótopos estables ■ ■ inestables ■

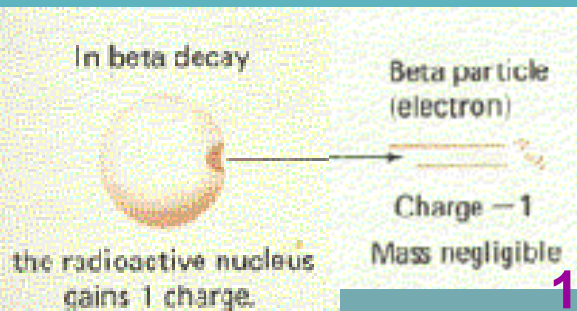
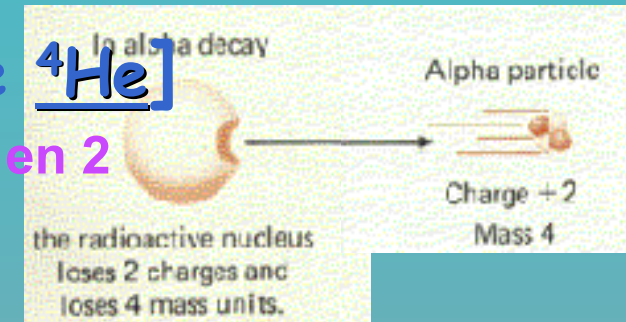
Pares isotópicos



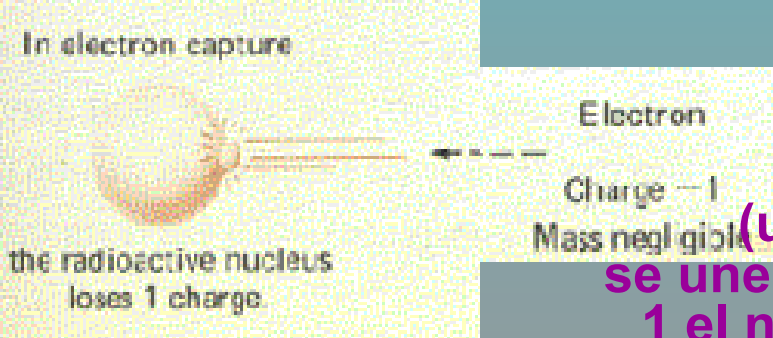
Tipos de decaimiento radioactivo

- α [emisión de partícula α : núcleos de ${}^4\text{He}$]
[2prot⁺+2neut⁺] = disminuye masa A en 4 y número A en 2

Ej.: ${}^{238}\text{U}-{}^{234}\text{Th}$



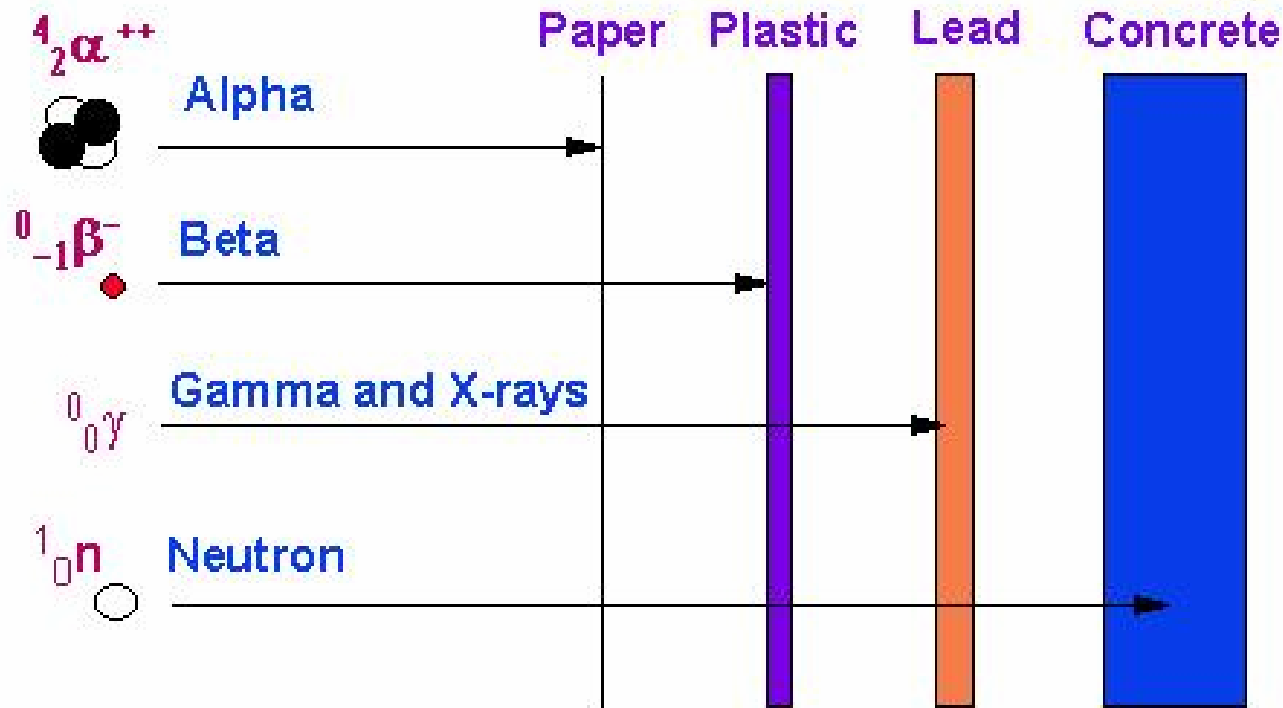
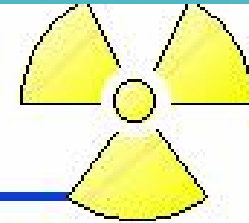
- β^+ [emisión de electrones]
(un 1 neutrón se divide en 1pr y 1e⁺. Queda 1 pr extra) = no cambia masa A y aumenta en 1 el número A.
Ej.: ${}^{40}\text{K}-{}^{40}\text{Ca}$; ${}^{234}\text{Th}-{}^{234}\text{Pa}$; ${}^{87}\text{Rb}-{}^{87}\text{Sr}$; ${}^{14}\text{C}-{}^{14}\text{N}$.



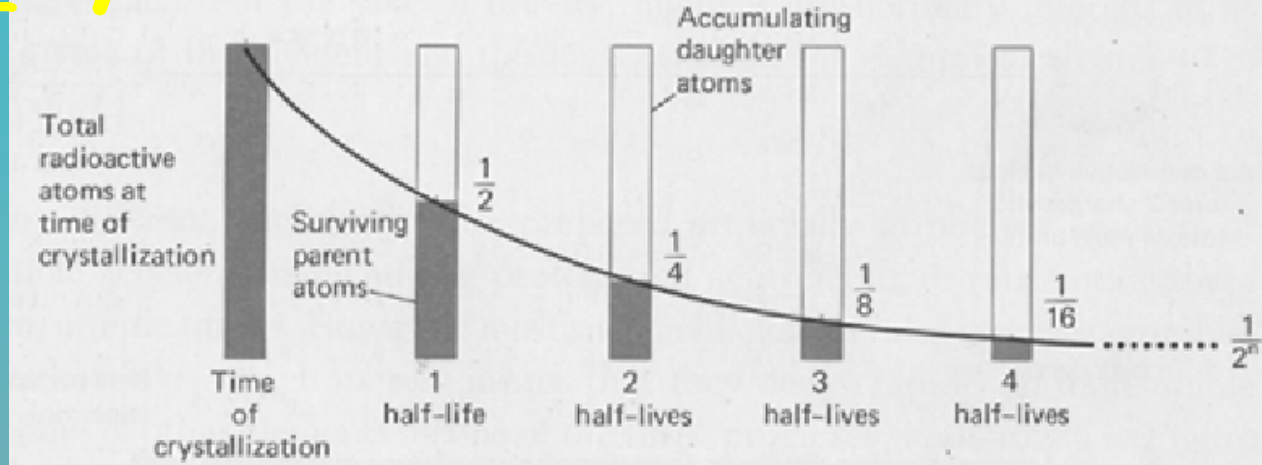
- β^- [Captura de electrones]
(un electrón "β" -ó electrón por radiación cósmica-, se une a un prot transformándose a neut) = disminuye en 1 el número A, no cambia la masa A. Ej. "β": ${}^{40}\text{K}-{}^{40}\text{Ar}$;
Ej. radiación cósmica: ${}^{14}\text{N}-{}^{14}\text{C}$.

- Otras emisiones asociadas: γ [radiación gamma]
(ondas electromagnéticas de longitud de onda más corta que los rayos X)

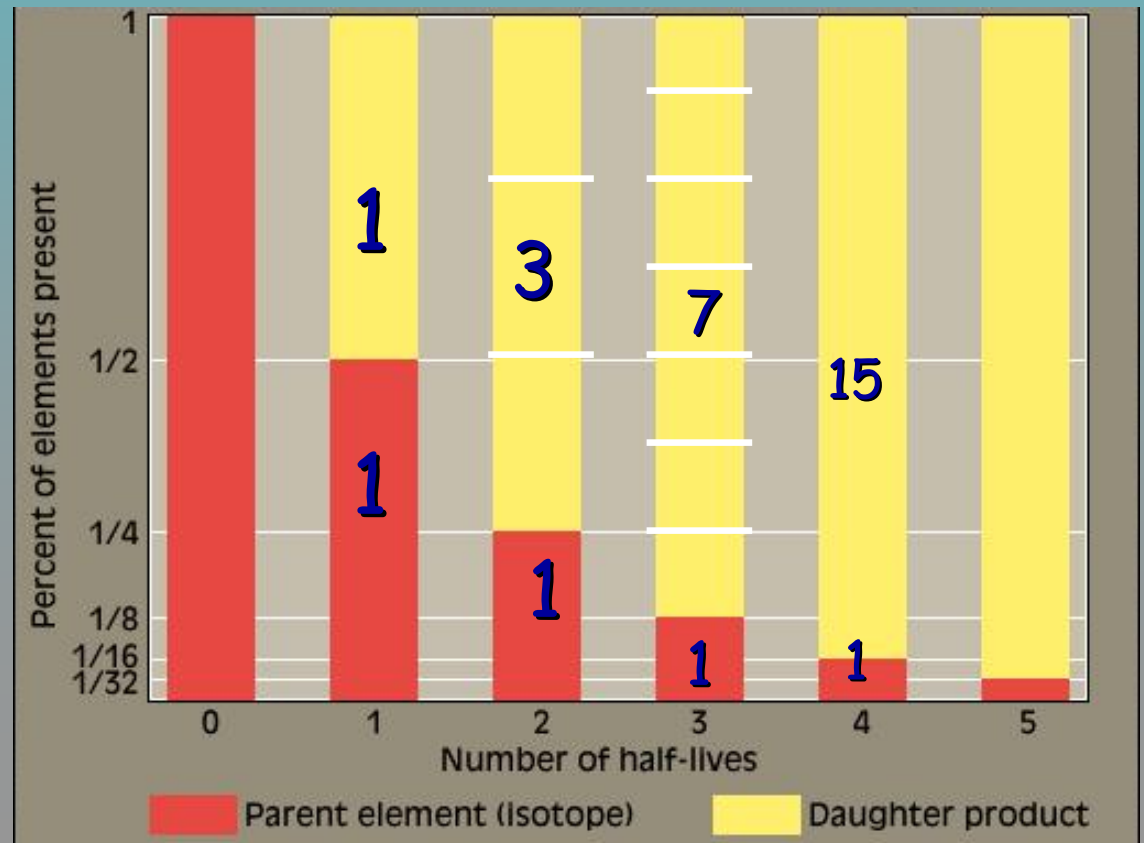
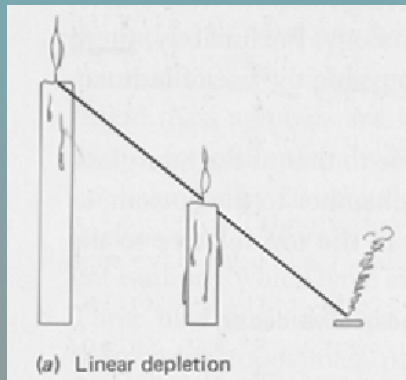
Penetrating Distances



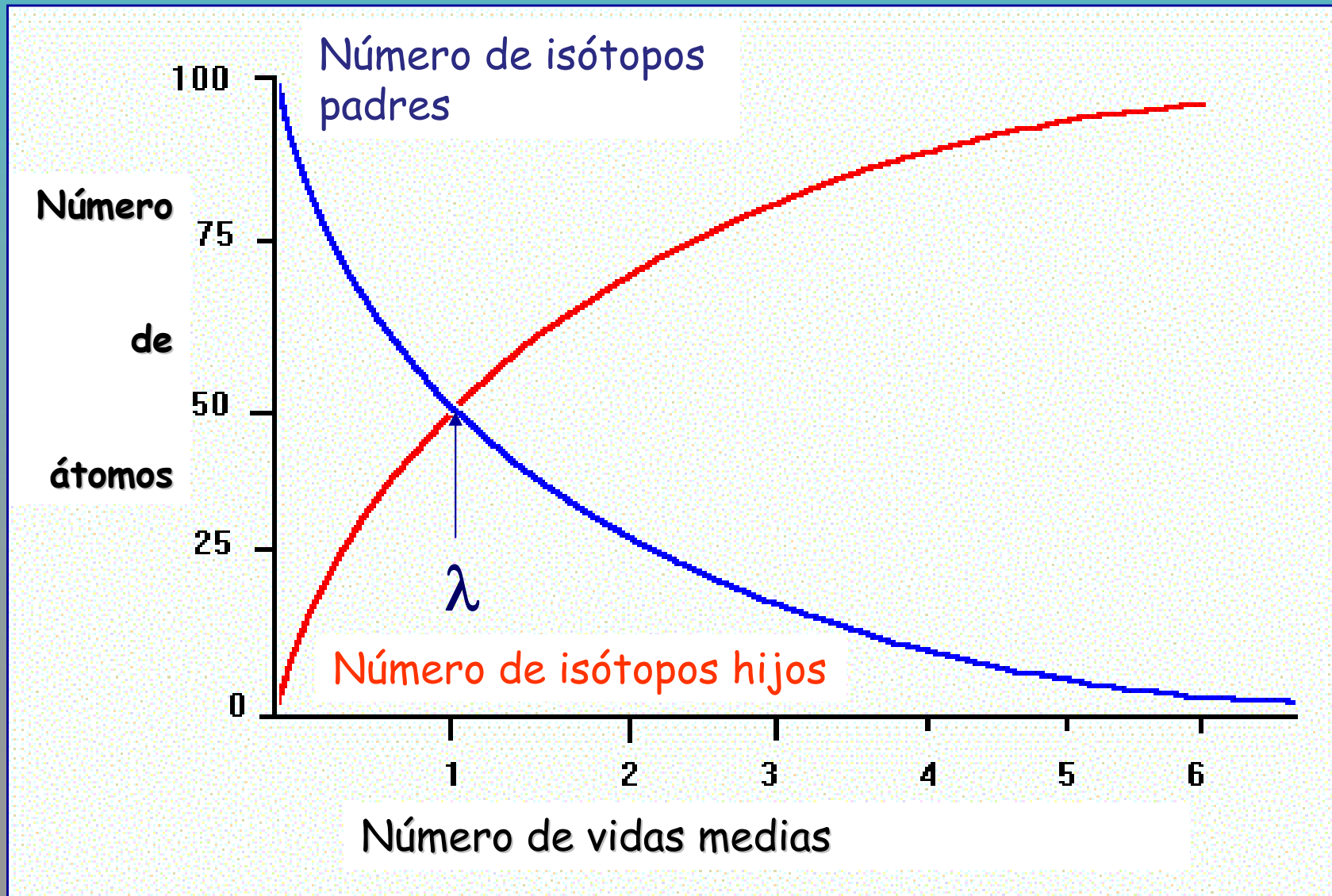
Vida media $T_{1/2}$ y constante de decaimiento λ



(b) Geometric depletion



Vida media $T_{1/2}$ y constante de decaimiento λ



Métodos isotópicos

Como en un reloj de arena:

Por cada grano de arena que cae del reservorio de arriba (isótopo padre: radioactivo), aparece un grano en el reservorio de abajo (isótopo hijo: radiogénico).



Se puede determinar cuánto tiempo ha transcurrido a partir de la relación de arena en ambos reservorios.

Se debe conocer

- cuantos granos de arena caen por unidad de tiempo (λ)
- cuantos granos de arena había en el reservorio inferior al inicio del conteo de tiempo
- el reloj no debe tener agujeros (sistema cerrado)

¿Cómo se calcula una edad isotópica ?

$$t = -\frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{Y_{\text{hoy}} - Y_{\text{inicial}}}{X_{\text{hoy}}} + 1 \right]$$

t: Edad en años

λ : Constante de decaimiento radioactivo

Y: Relación isotópica de los isótopos hijos

X: Relación isotópica de los padres

Naturaleza de objetos que se pueden fechar

Terrestres

Rocas
Fósiles
Minerales

Antropológicos:

Hombre
Cerámicas
Pirámides
Embarcaciones
Plantas

Cósmicos

Meteoritos
Luna
Marte

Métodos radio-isotópicos

PADRES	HIJOS	VIDA MEDIA DE PADRES	RANGO DE FECHAMIENTO EFECTIVO	MINERALES, ROCAS Y OTROS MATERIALES QUE PUEDEN SER FECHADOS
Samario-147	Neodimio- 143		>100 ma	granates Rocas básicas, metamórficas condritas y rocas lunares
Rubidio-87	Estroncio-87	48,800 millones de años	>10 ma 10 - 4.600 ma	Micas, Feldespato-K Rocas metamórficas o ígneas félsicas
Potasio-40	11% a: Argón-40 (89% a: Calcio 40)	1,251 millones de años	>1 ma (>0.1 ma) 50,000 a - 4,600ma	Rocas ígneas, volcánicas y metamórficas: Feldespato, micas, anfíboles, vidrios volc.
Uranio-238	Plomo-206	4,500 mill. de años	>10 ma 10 - 4,600 ma	Zircon, Uraninita, Petchblenda, esfena, monacita
Uranio-235	Plomo-207	704 mill. de años	>1 ma	
Thorio-232	Plomo-208		>1 ma (>0.1 ma)	Zircon, Uraninita, Petchblenda
Plomo-210	Plomo- 206	22.3 años	< 250 años	sedimentos marinos y lacustres, no perturbados
Carbono-14	Nitrógeno-14	5,730 años	< 70,000 100 - 70,000 a	Materia orgánica: madera, carbón, turba, etc. CaCO ₃ . y agua y hielo con CaCO ₃ disuelto.

• $^{232}\text{Th} - ^{208}\text{Pb} > 1\text{ma}$

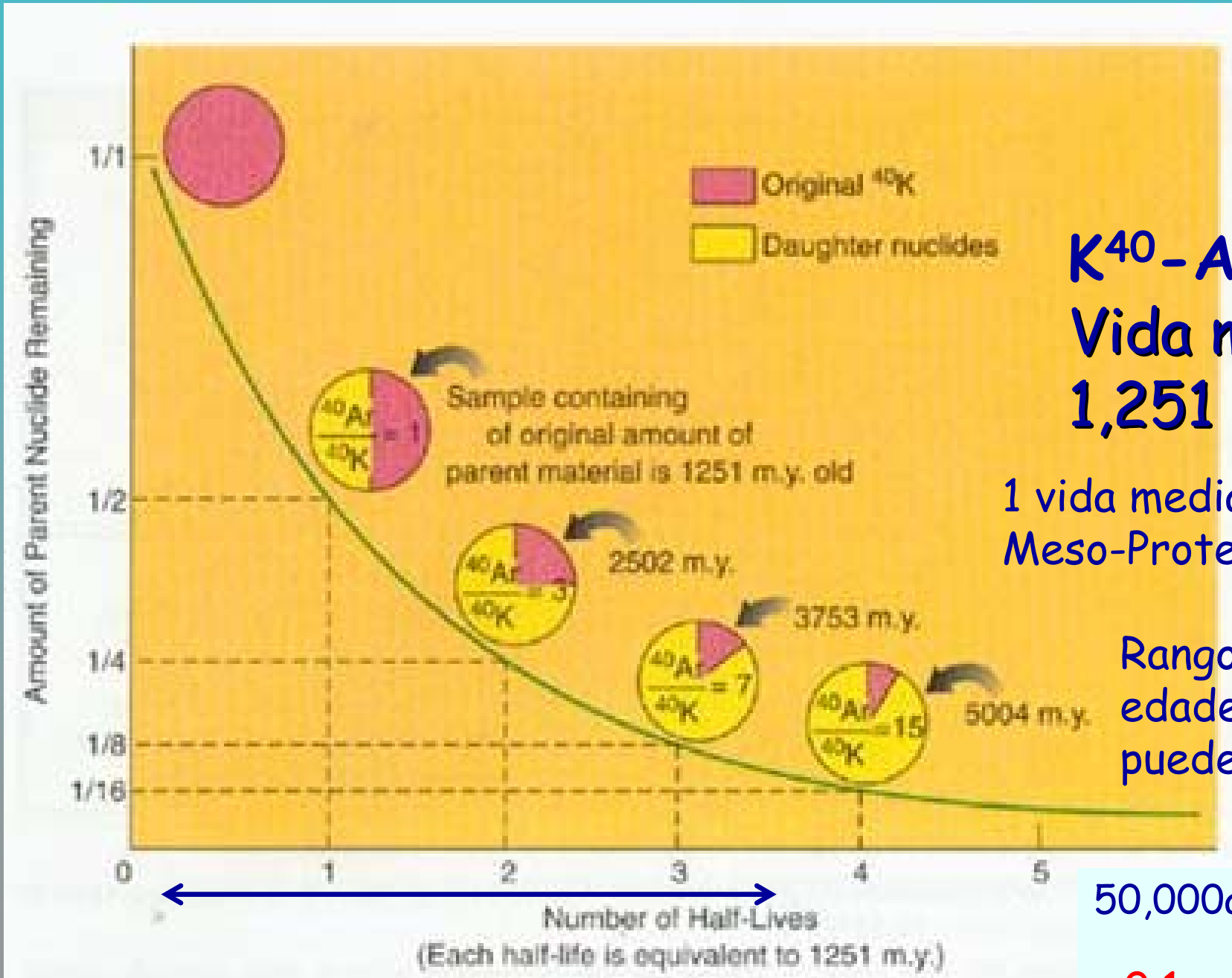
• $^{187}\text{Re} - ^{187}\text{Os} > 200\text{ma}$

• $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar} \quad 0.1\text{ma}$

Métodos isotópicos

- $^{87}\text{Rb} - ^{87}\text{Sr}$
- $^{40}\text{K} - ^{40}\text{Ar}$
- $^{238}\text{U} - ^{206}\text{Pb}$
- $^{235}\text{U} - ^{207}\text{Pb}$
- **Serie** de
desequilibrio del **U**
- $^{232}\text{Th} - ^{208}\text{Pb}$
- $^{147}\text{Sm} - ^{143}\text{Nd}$
- $^{187}\text{Re} - ^{187}\text{Os}$
- $^{176}\text{Lu} - ^{176}\text{Hf}$
- $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$

Métodos radio-isotópicos



$\text{K}^{40} - \text{Ar}^{40}$

Vida media:
1,251 ma

1 vida media = edad del
Meso-Proterozoico

Rango en de
edades en que se
puede aplicar:

50,000a. - 4,600ma

> 0.1 ma > 1 ma

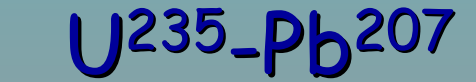
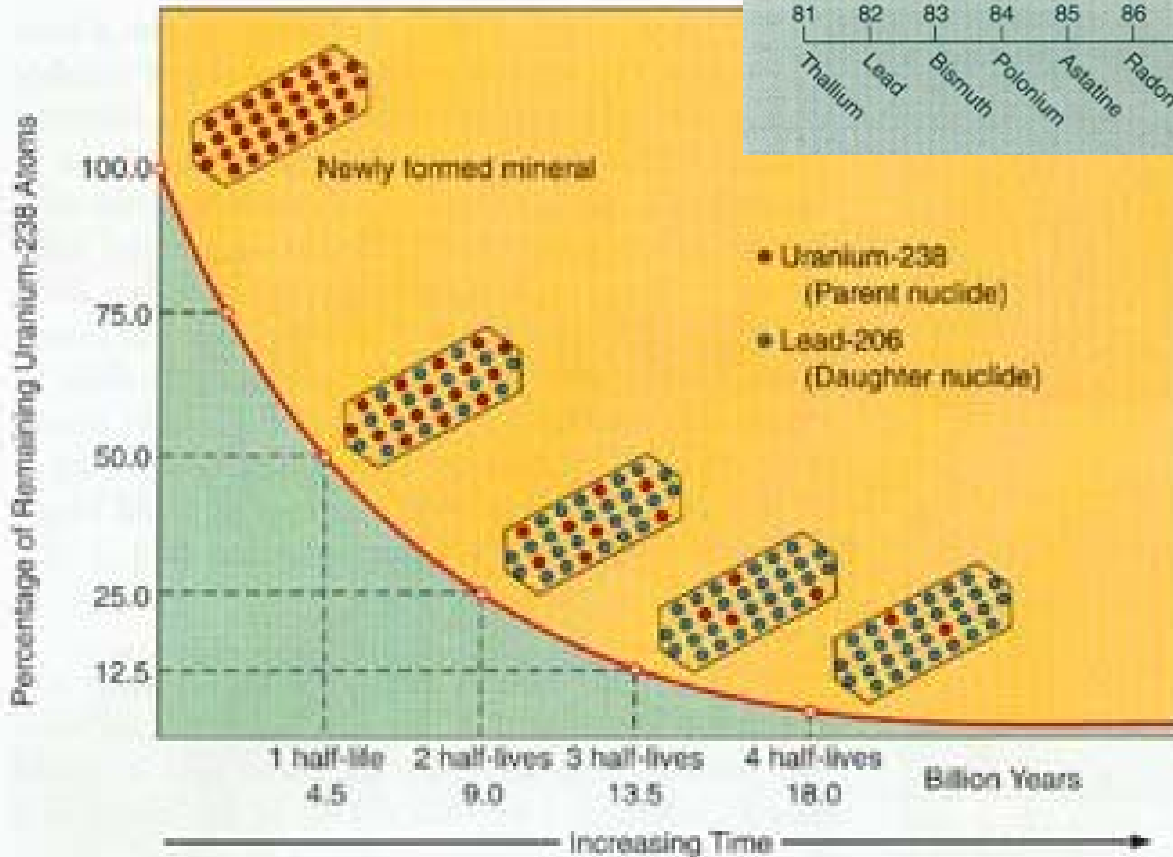
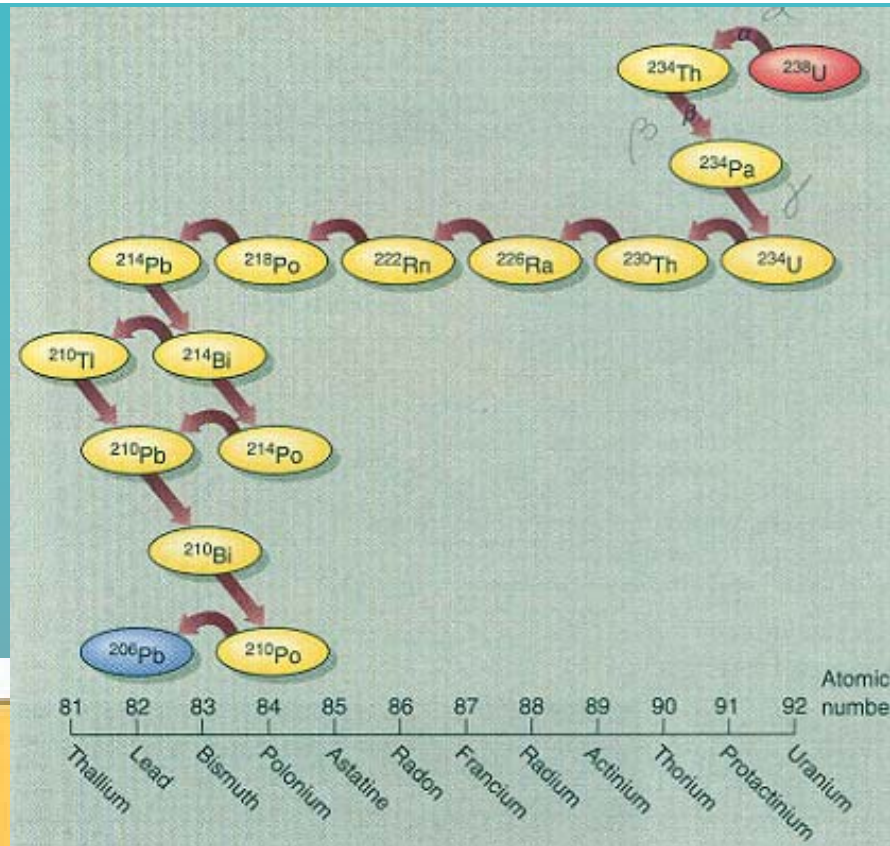
Métodos radio-isotópicos



Vida media:

4500 ma

1 vida media = edad de la Tierra



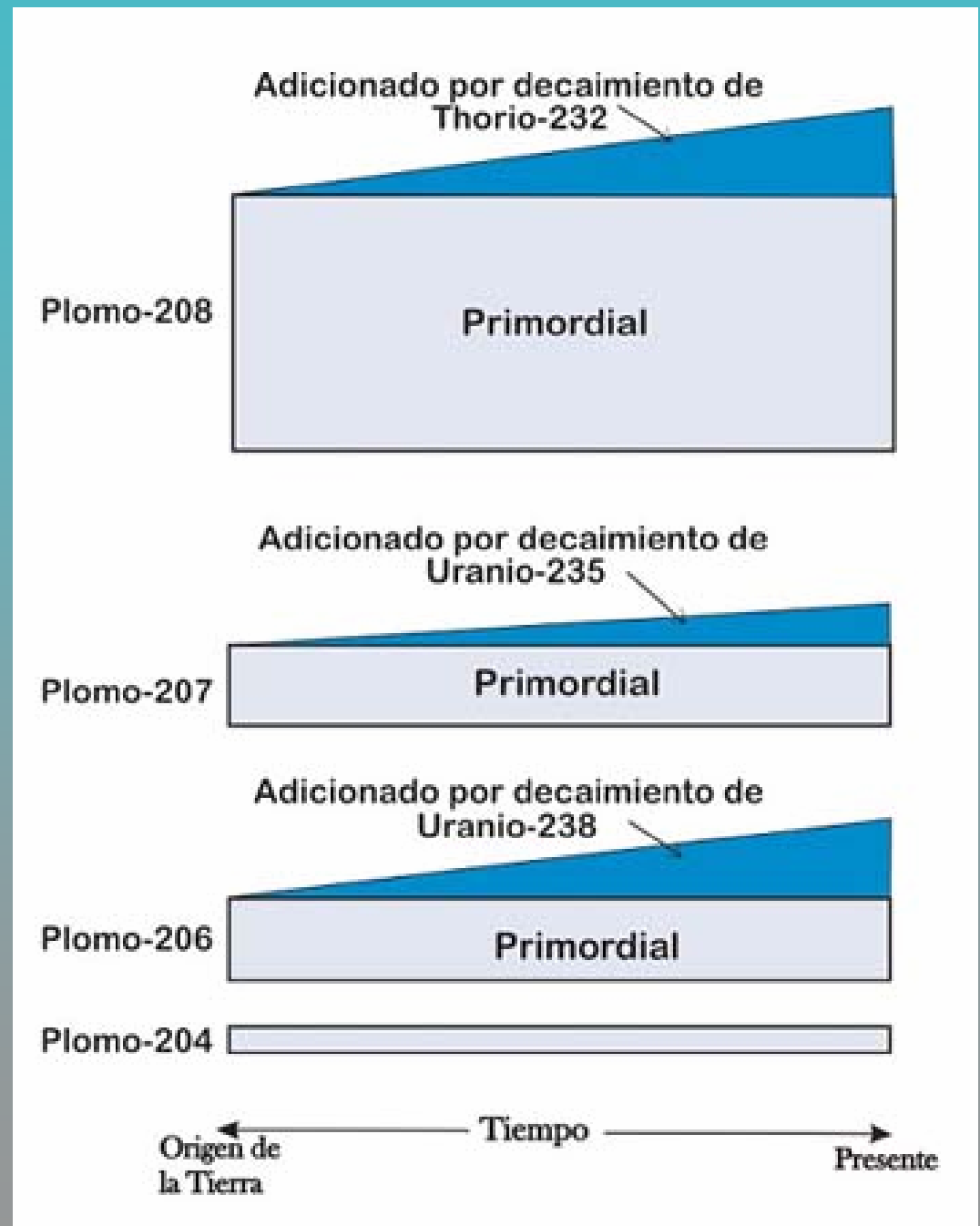
Vida media:

704 ma

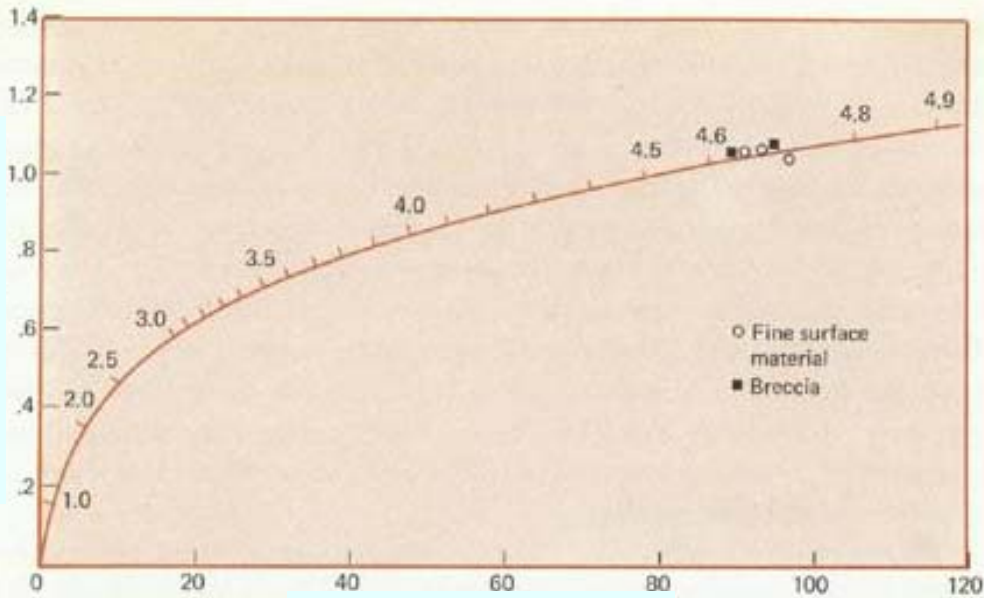
1 vida media = edad del Neo-Proterozoico

Métodos radio-isotópicos

El problema con los métodos U-Pb es que no todos los isótopos Pb^{206} y Pb^{207} son radiogénicos sino que existe una cierta cantidad de ellos que están desde la Tierra primordial.



Pb-206 : U-238



Pb-207 : U-235

Uranium-lead concordia showing concordant ages (in billions of years) of lunar soil and breccia collected by Apollo 11. Age between 4.6 and 4.7 billion years accords with the age of the solar system. (Wetherill, 1971)

U-Pb

Concordia

$U^{238} \rightarrow Pb^{206}$

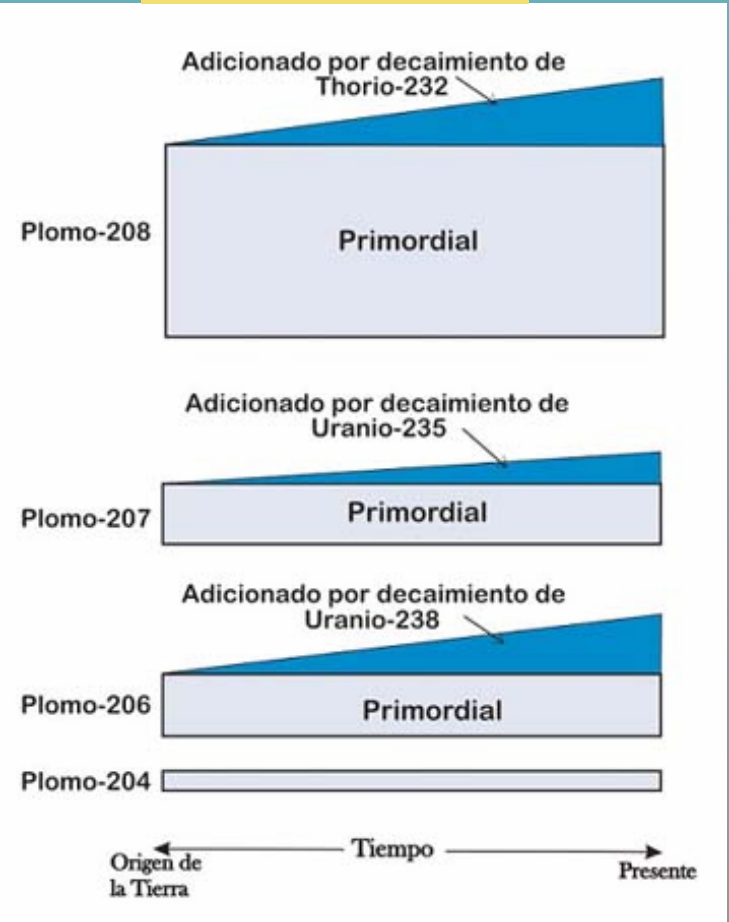
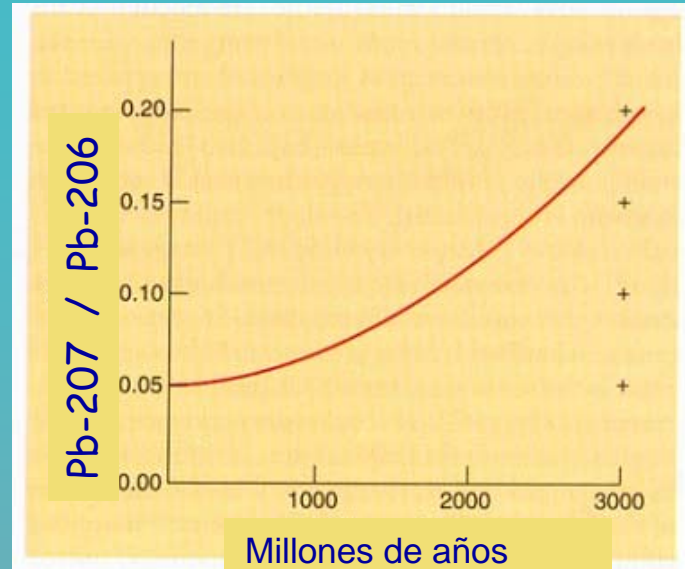
$U^{235} \rightarrow Pb^{207}$

Vida media:
4500 ma

Vida media:
704 ma

Rango en de
edades en que se
puede aplicar:

10 - 4,600 ma



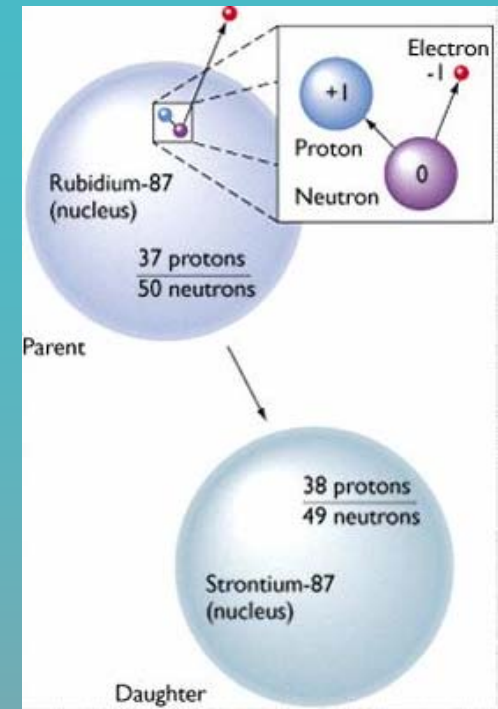
Métodos radio-isotópicos

En este método se tiene un problema similar: no todo el Sr^{87} es radiogénico

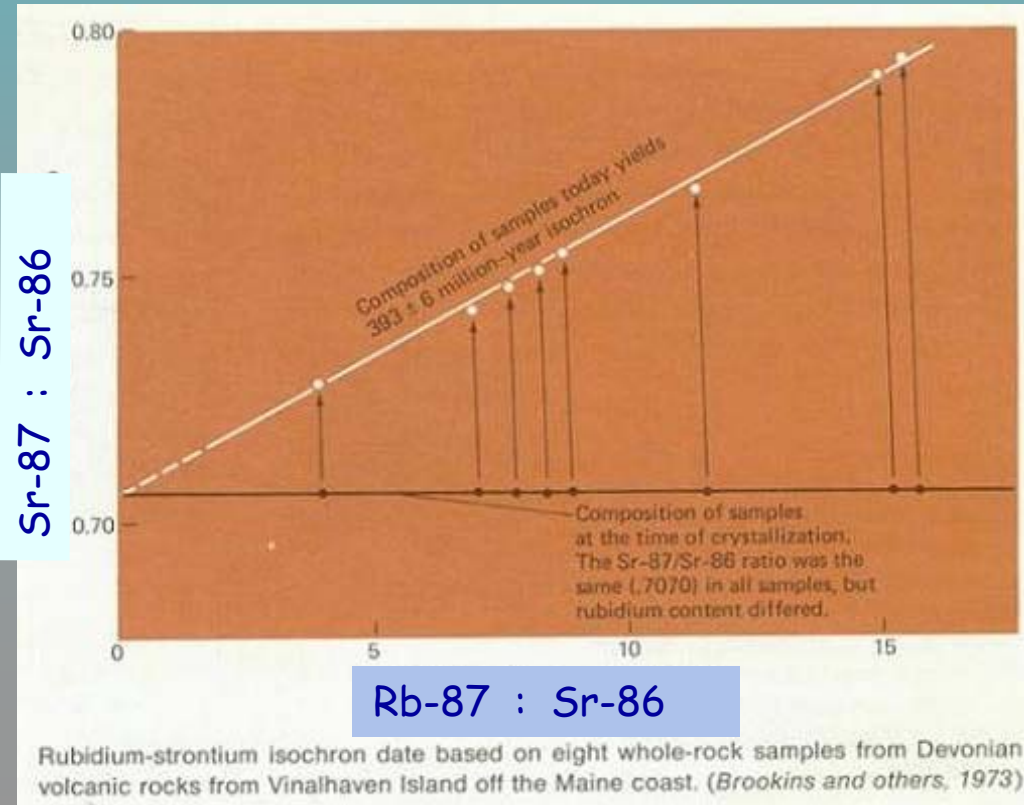
$Rb^{87}-Sr^{87}$
 Vida media:
 48,800 ma

Rango en de
 edades en que se
 puede aplicar:

10 - 4,600 ma



$Sr-87 : Sr-86$



Métodos radiométricos

Se calcula la edad a partir de la suma de actividades de los elementos radioactivos padre únicamente, asumiendo un sistema cerrado.

- ^{14}C
- ^{210}Pb α

Carbon-14 Dating

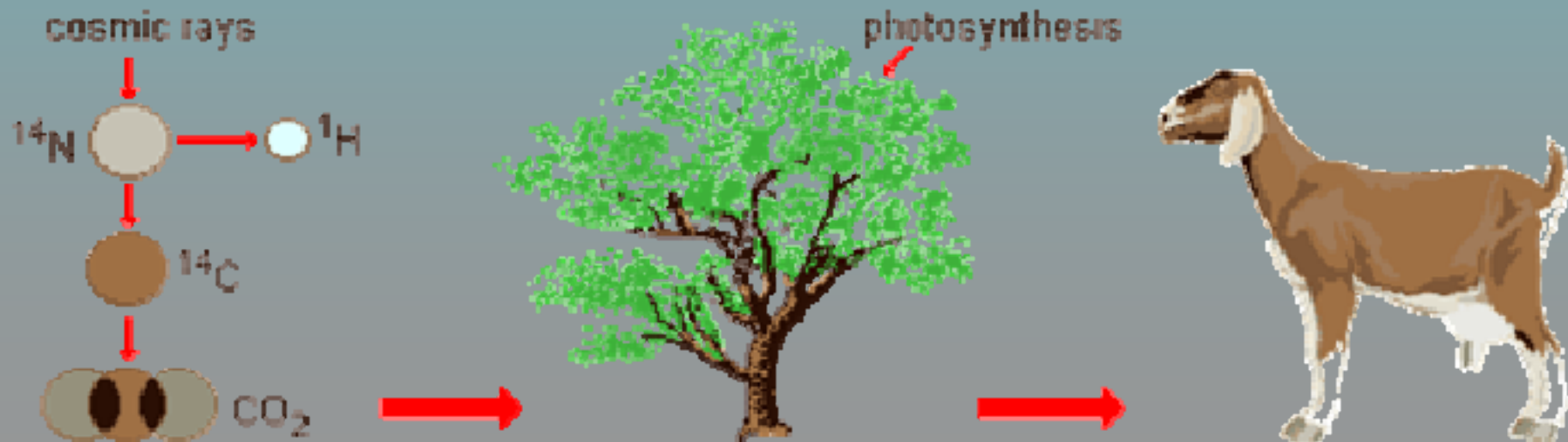
β
Beta
Decay



Carbon-14 is produced at a constant rate in Earth's atmosphere and is in a fixed ratio to Carbon-12 in living plants and animals.

Ratio of Carbon-14 to Carbon-12 in organic material (like wood, leather, cloth, antlers) decreases by half every 5730 yrs.

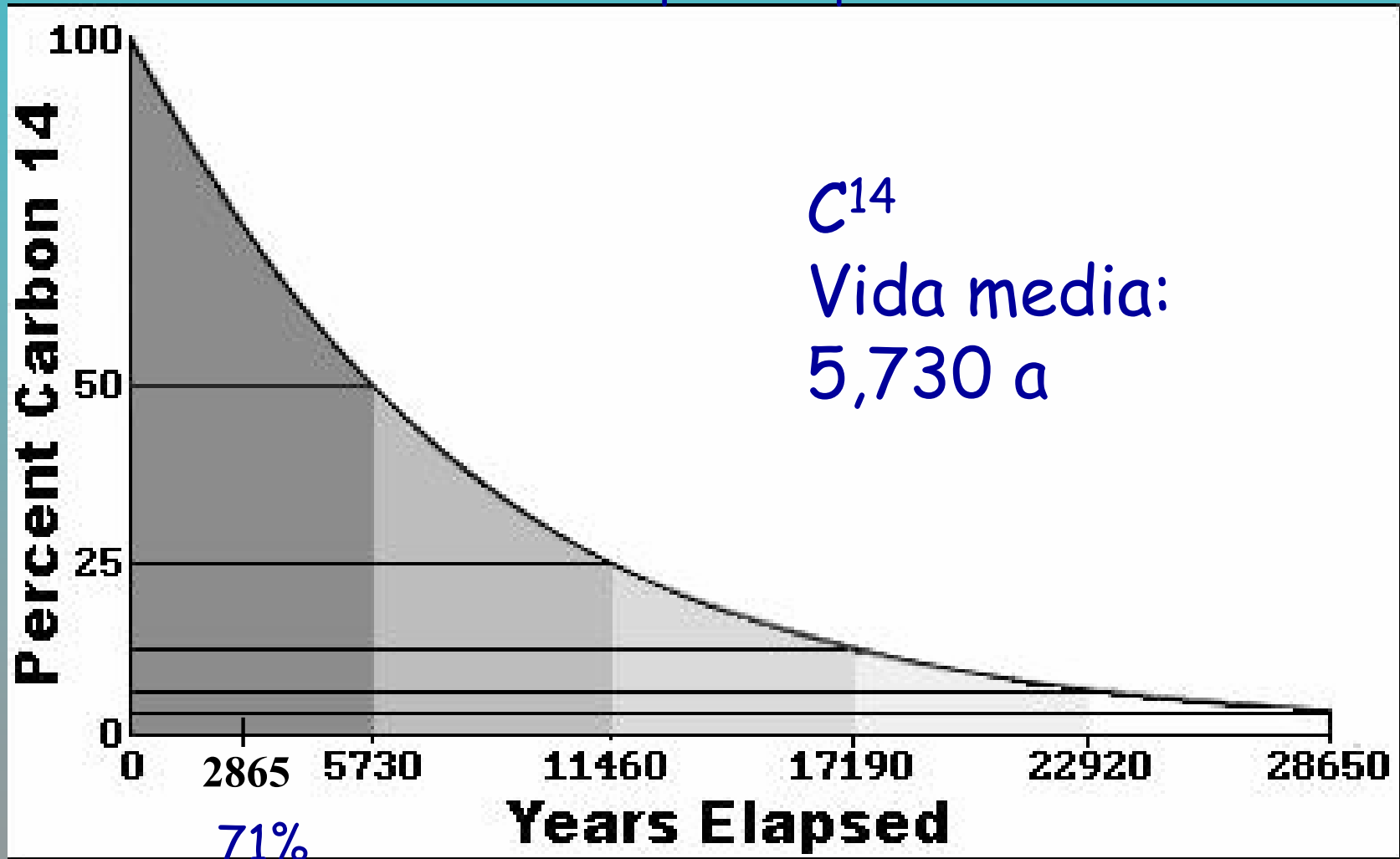
^{14}C



Métodos radio-isotópicos

Rango en de
edades en que se
puede aplicar:

100 - 70,000 a



C^{14} restante

50%

25%

12.5%

Holoceno



Metodología

- Obtención de materiales en campo en cantidad suficiente.
- Extracción y preparación de la parte representativa de estos materiales que se analizará:
 - Trituración y molienda
 - Separación de minerales
- Medición de isotópos de interés
- Obtención de resultados



Preparación de materiales



Preparación
mecánica

Preparación de materiales

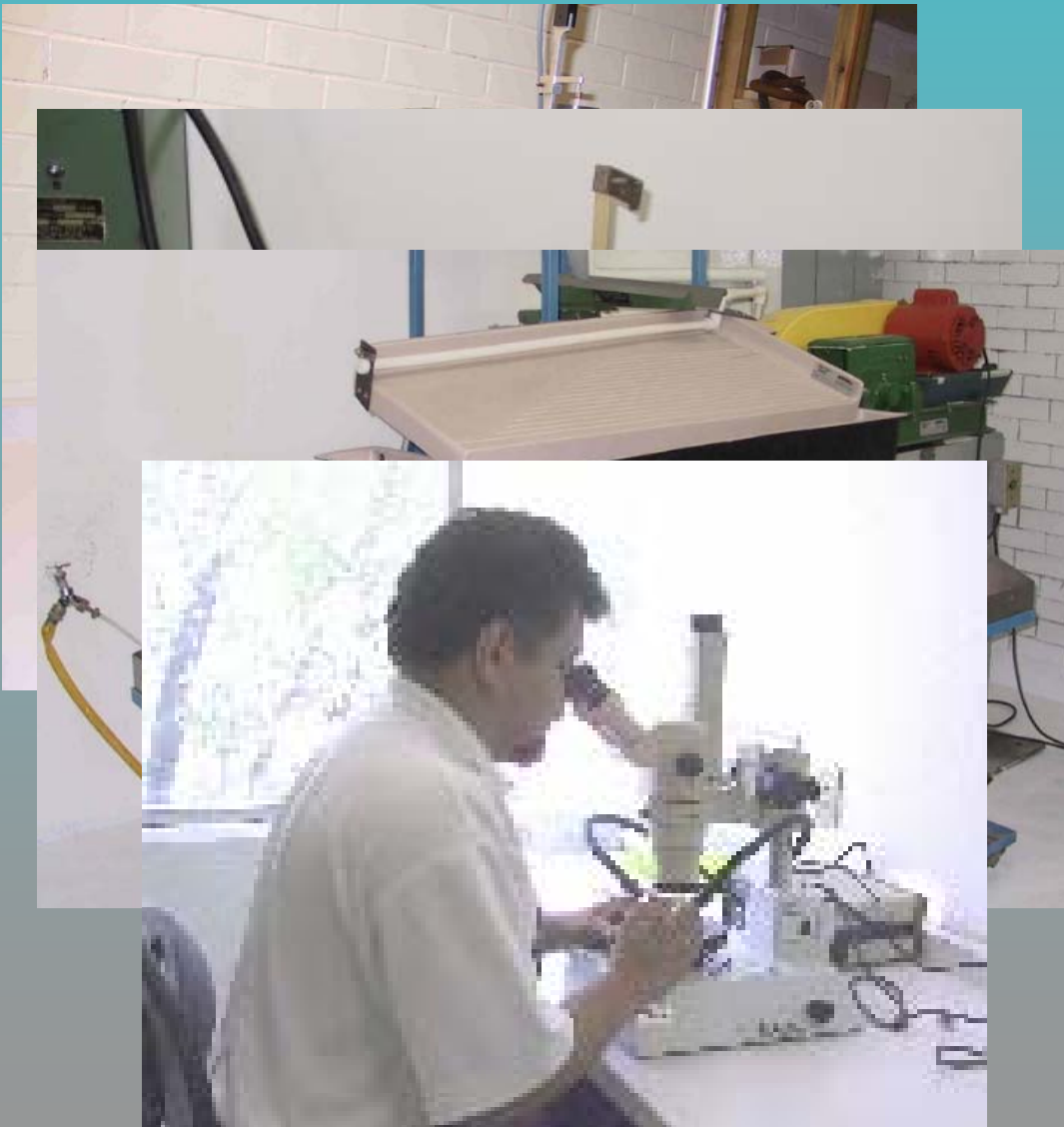
Separación de
minerales

Separador Magnético
Frantz

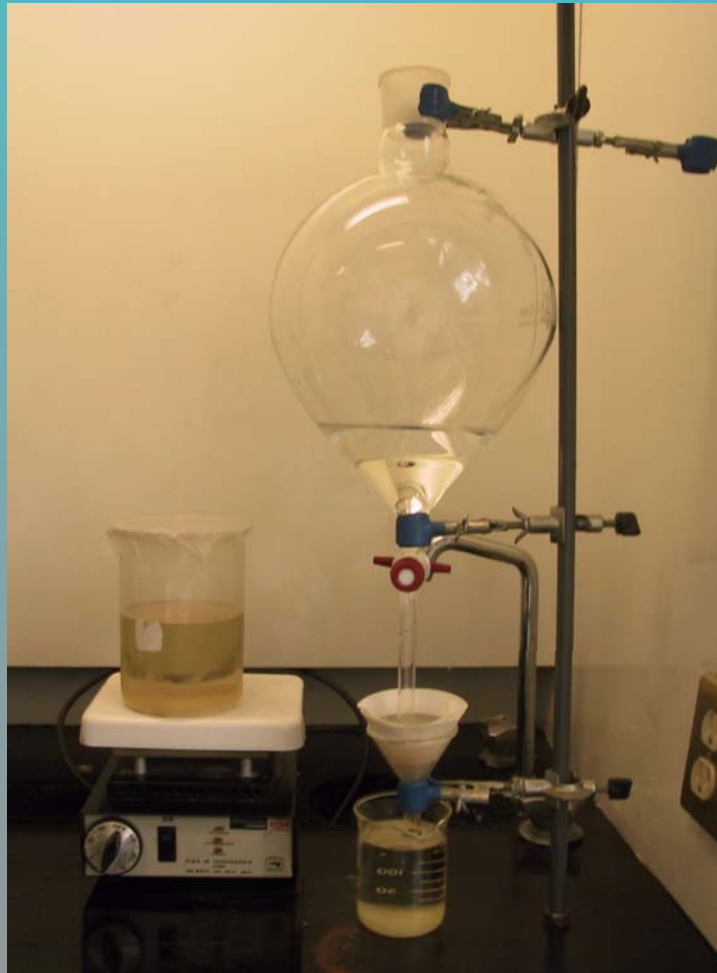
Mesa vibradora

Mesa Wilfley

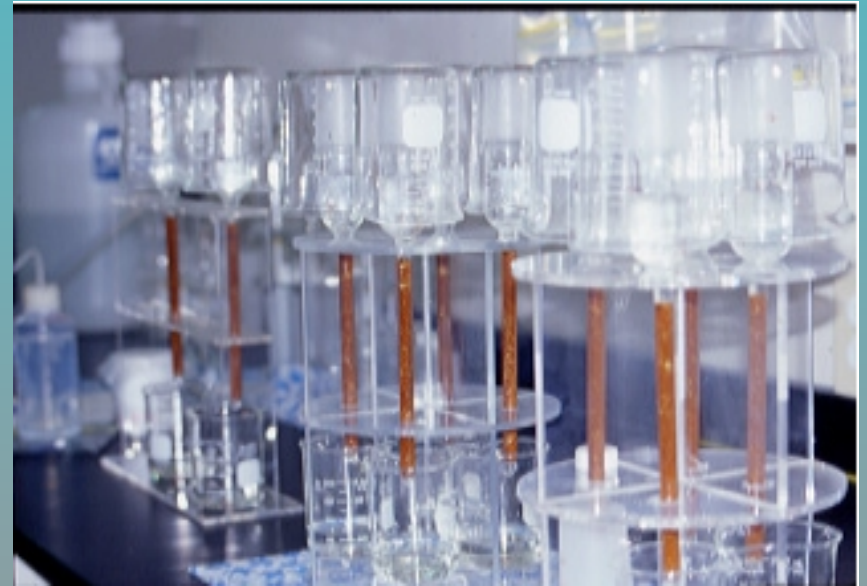
Hand-picking



Preparación de materiales



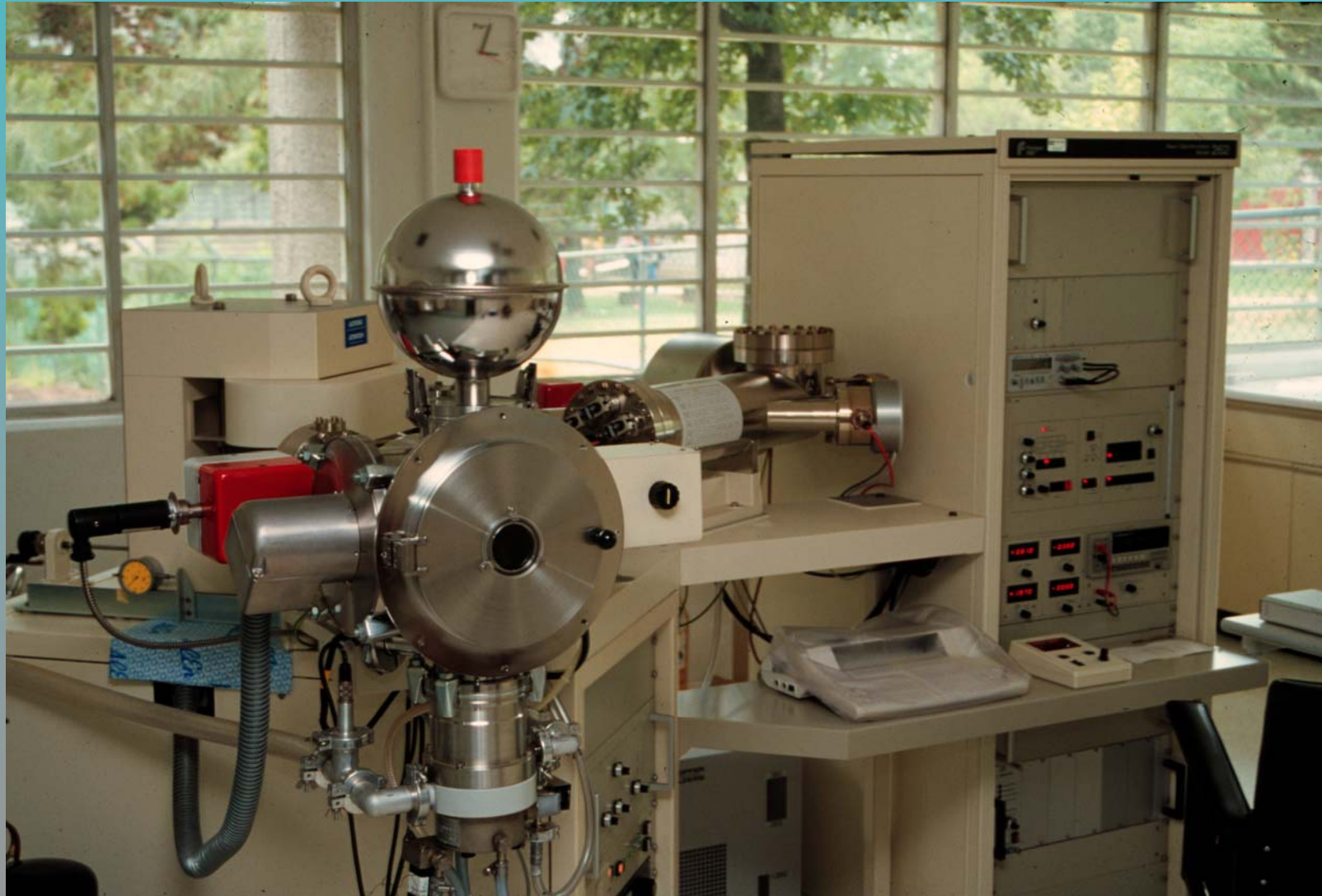
Líquidos Pesados



Preparación química
concentración de minerales y/o
elementos

Métodos radio-isotópicos

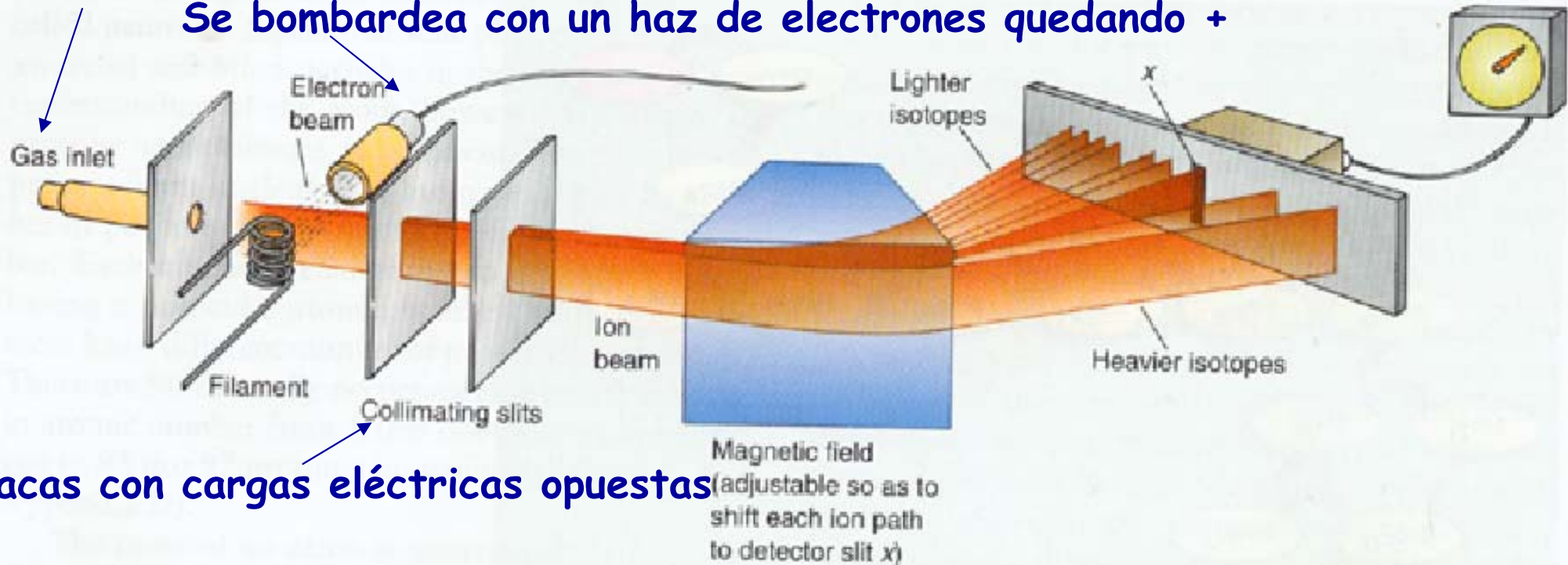
ESPECTRÓMETRO DE MASAS



Medición de masas atómicas e isótopos

La muestra se evapora

Se bombardea con un haz de electrones quedando +



Placas con cargas eléctricas opuestas

La intensidad de cada haz es medida eléctricamente para determinar la abundancia de cada isótopo

Radiocarbón

Potasio-Argón

