

Radioisotopía

Amezcu Montiel Abril
Avendaño Villeda Diana Angélica
Martínez García Ángel
García Lucero

Series de decaimiento radiactivo

Series de decaimiento radiactivo

- Isótopo: forma de un elemento de diferente masa atómica (difiere en el número de neutrones).
- Son inestables, mediante decaimiento radiactivo pasan a ser isótopos de otros elementos más estables.
- Series de decaimiento radiactivo.

Series de decaimiento radiactivo

Parent	half life (million years)	Daughter	dating range (million years)
^{40}K	1.25×10^3	^{40}Ar	1 to >4500
^{87}Rb	48.8×10^3	^{87}Sr	10 to >4500
^{147}Sm	1.06×10^3	^{143}Nd	>200
^{187}Re	42.0×10^3	^{187}Os	10 to >4500
^{232}Th	14.01×10^3	^{208}Pb	10 to >4500
^{235}U	0.704×10^3	^{207}Pb	10 to >4500
^{238}U	4.468×10^3	^{206}Pb	10 to >4500
^{14}C	5730 yr	^{14}N	<0.07

Éstas son las series más utilizadas

Series de decaimiento radiactivo

- **Vida media:** tiempo que tardan la mitad de los átomos presentes (isótopo padre) en decaer al siguiente isótopo en la serie (isótopo hijo).

Mecanismos de decaimiento

- **Alfa:** El núcleo se desembaraza de dos protones unidos
- **Beta:** Un neutrón se transforma en un protón por emisión de un electrón
- **Gamma:** No cambia ninguno de los números N y Z . El núcleo está excitado y libera la energía en fotones.

- Existen unos 1 700 núcleos diferentes en su número de masa; de éstos, sólo 260 son estables. Son estables aquellos núcleos con número de masa menor a 83 y con números atómicos y neutrónicos muy parecidos.

CUADRO 1. Número total de núcleos estables catalogados por las características de sus números nucleares

<i>A</i>	<i>Z</i>	<i>N</i>	<i>Núm. de elementos</i>
par	par	par	157
impar	par	impar	53
impar	impar	par	50
par	impar	impar	4
Número total			264

FUENTE: Holden y Walker, 1972.

Proceso para llegar a tener este tipo de configuraciones (Figura 1)

Algunos Núcleos radiactivos no existen en la naturaleza por sus grados de inestabilidad.

La vida media sólo depende de los núcleos.

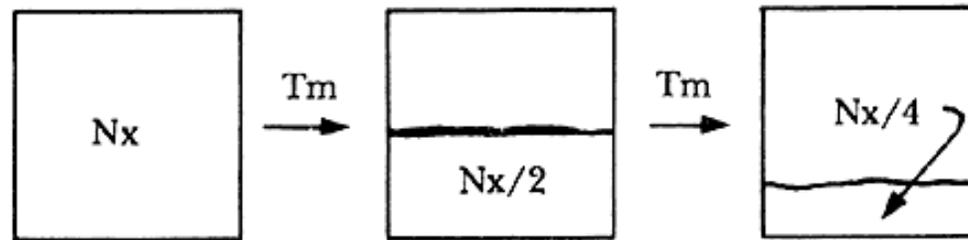


Figura 1. Esquema de decaimiento de un elemento radiactivo. N_x es el número inicial de radionúcleos, T_m es la vida media.

¿Qué tan rápidamente decae un número N_x de núcleos? **Lambda $\lambda = 0.693 / T_m$**

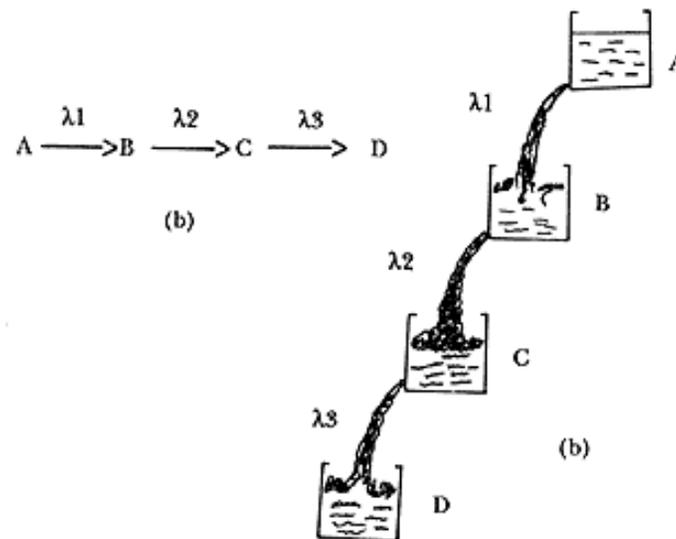
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

N = Número de átomos

N_0 = Número inicial de átomos

Series radiactivas

- Núcleo padre \rightarrow Núcleo Hijo



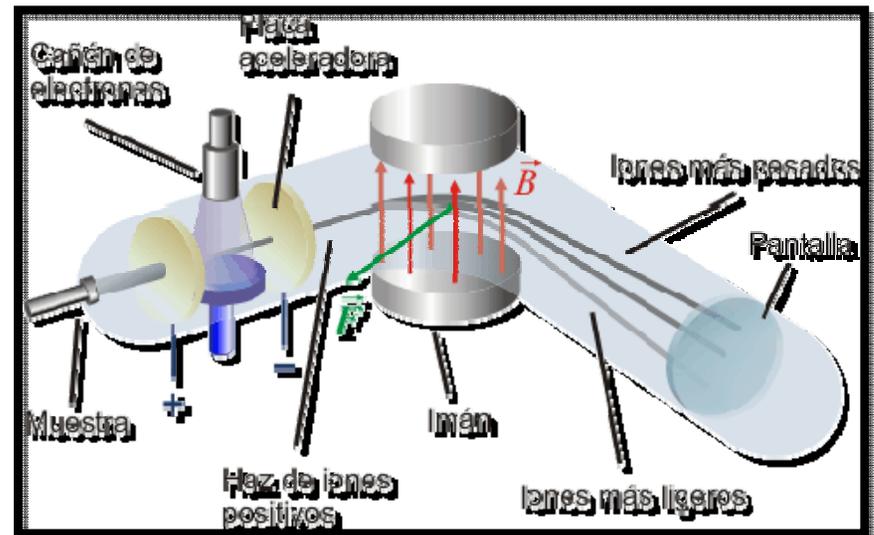
la constante de decaimiento lo constituye el diámetro del orificio

Figura 4. Analogía de una serie radiactiva. El tamaño de los orificios por los que escapa el agua es análogo de la constante de decaimiento. El equilibrio se alcanza si cada orificio es sucesivamente mayor de arriba hacia abajo.

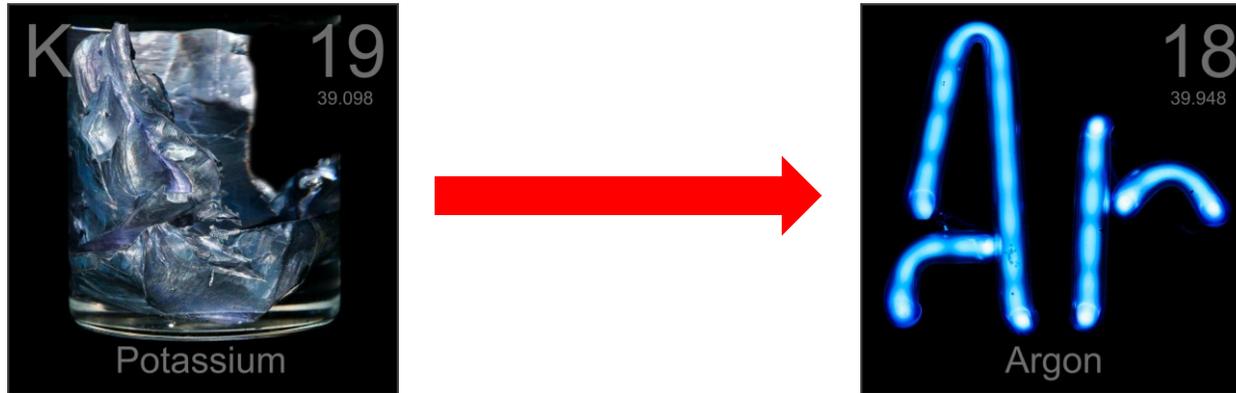
- las concentraciones de los elementos en rocas y minerales debe ser muy exacta → espectrógrafos de masas.
- Los isótopos utilizados deben existir naturalmente en las rocas

Datación radiométrica

- Muestras grandes molidas a tamaño arena y mezcladas para obtener una pequeña muestra homogénea.
- Ésta se disuelve para realizar análisis elementales o isotópicos, o se separan los minerales de interés.
- La medición se hace con un espectrómetro de masas



Datación con potasio-argón



- Para fechar glauconita o rocas volcánicas.
- Vida media de ^{40}K : 11.93 mil millones de años. Decae en ^{40}Ca y en ^{40}Ar (sólo el 11%).
- Un inconveniente es que el argón, por ser un gas, sale por difusión de la roca. Para resolverlo...

Datación argón-argón

- Se irradia una muestra de edad conocida y la muestra problema con neutrones.
- El ^{39}Ar forma ^{39}K y de manera indirecta, sabiendo la proporción formada, se puede calcular la cantidad de ^{40}Ar presente.
- Para ahorrar costos, se puede hacer un calentamiento por pasos en la técnica potasio-argón para eliminar los errores en los cálculos.

METODOS DE FECHAMIENTO RADIOMÉTRICOS E ISOTÓPICOS

- **Fechamiento de Rubidio-Estroncio**
- **Fechamiento de Samario-Neodimio**
- **Fechamiento de Renio-Osmio**
- **Fechamiento de Uranio-Plomo**

Tabla Periódica de los Elementos

<http://chemistry.about.com>

© 2012 Todd Helmenstine
About Chemistry

1A												3A					4A	5A	6A	7A	8A								
1 H 1.00794 Hidrógeno												5 B 10.811 Boro	6 C 12.0107 Carbono	7 N 14.0067 Nitrógeno	8 O 15.9994 Oxígeno	9 F 18.9984032 Flúor	10 He 4.002602 Helio												
3 Li 6.941 Litio	4 Be 9.012182 Berilio											13 Al 26.9815386 Aluminio	14 Si 28.0855 Silicio	15 P 30.973762 Fósforo	16 S 32.065 Azufre	17 Cl 35.453 Cloro	18 Ar 39.948 Argón												
11 Na 22.989769 Sodio	12 Mg 24.3050 Magnesio											19 K 39.0983 Potasio	20 Ca 40.078 Calcio	21 Sc 44.955912 Escandio	22 Ti 47.867 Titanio	23 V 50.9415 Vanadio	24 Cr 51.9961 Cromo	25 Mn 54.938045 Manganeso	26 Fe 55.845 Hierro	27 Co 58.933195 Cobalto	28 Ni 58.6934 Níquel	29 Cu 63.546 Cobre	30 Zn 65.38 Zinc	31 Ga 69.723 Galio	32 Ge 72.64 Germanio	33 As 74.92160 Arsénico	34 Se 78.96 Selenio	35 Br 79.904 Bromo	36 Kr 83.798 Kriptón
37 Rb 85.4678 Rubidio	38 Sr 87.62 Estroncio	39 Y 88.90585 Itrio	40 Zr 91.224 Zirconio	41 Nb 92.90638 Niobio	42 Mo 95.96 Molibdeno	43 Tc [98] Tecnecio	44 Ru 101.07 Rutenio	45 Rh 102.90550 Rodio	46 Pd 106.42 Paladio	47 Ag 107.8682 Plata	48 Cd 112.411 Cadmio	49 In 114.818 Indio	50 Sn 118.710 Estaño	51 Sb 121.760 Antimonio	52 Te 127.60 Telurio	53 I 126.90447 Yodo	54 Xe 131.293 Xenón												
55 Cs 132.9054519 Cesio	56 Ba 137.327 Bario	57-71 Lantánidos	72 Hf 178.49 Hafnio	73 Ta 180.94788 Tantalio	74 W 183.84 Wolframio	75 Re 186.207 Renio	76 Os 190.23 Osmio	77 Ir 192.217 Iridio	78 Pt 195.084 Platino	79 Au 196.966569 Oro	80 Hg 200.59 Mercurio	81 Tl 204.3843 Talio	82 Pb 207.2 Plomo	83 Bi 208.98040 Bismuto	84 Po [209] Polonio	85 At [210] Astatio	86 Rn [222] Radón												
87 Fr [223] Francio	88 Ra [226] Radio	89-103 Actínidos	104 Rf [267] Rutherfordio	105 Db [268] Dubnio	106 Sg [271] Seaborgio	107 Bh [272] Bohrio	108 Hs [270] Hassio	109 Mt [276] Meitnerio	110 Ds [281] Darmstadtio	111 Rg [280] Roentgenio	112 Cn [285] Copernicio	113 Uut [284] Ununtrio	114 Fl [289] Flerovio	115 Uup [288] Ununpentio	116 Lv [293] Livermorio	117 Uus [294] Ununseptio	118 Uuo [294] Ununoctio												

Lantánidos

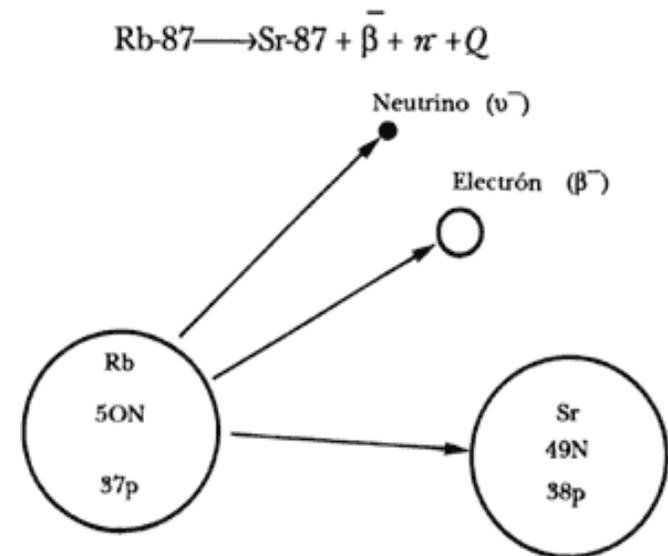
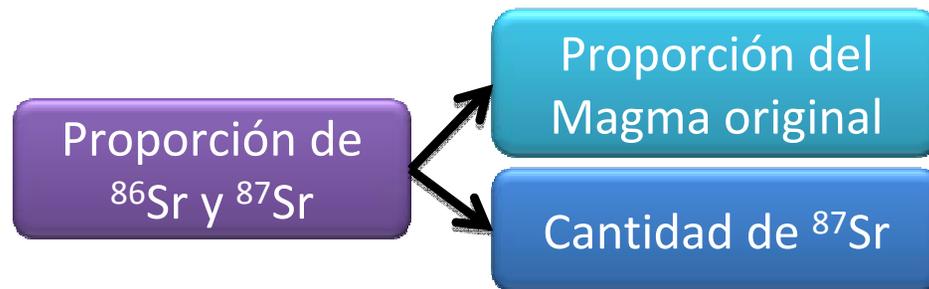
Actínidos

57 La 138.90547 Lantano	58 Ce 140.116 Cerio	59 Pr 140.90765 Praseodimio	60 Nd 144.242 Neodimio	61 Pm [145] Prometio	62 Sm 150.36 Samario	63 Eu 151.964 Europio	64 Gd 157.25 Gadolinio	65 Tb 158.92535 Terbio	66 Dy 162.500 Disprosio	67 Ho 164.93032 Holmio	68 Er 167.259 Erbio	69 Tm 168.93421 Tulio	70 Yb 173.054 Iterbio	71 Lu 174.9668 Lutecio
89 Ac [227] Actinio	90 Th 232.03806 Torio	91 Pa 231.03588 Protactinio	92 U 238.02891 Uranio	93 Np [237] Neptunio	94 Pu [244] Plutonio	95 Am [243] Americio	96 Cm [247] Curio	97 Bk [247] Berkelio	98 Cf [251] Californio	99 Es [252] Einsteinio	100 Fm [257] Fermio	101 Md [258] Mendelevio	102 No [259] Nobelio	103 Lr [262] Laurencio

Alcalino	Alcalinotérreo	Metales del bloque p	Halógeno	Gas noble
No metal	Metal de transición	Metaloides	Lantánidos	Actínidos

Rubidio-Estroncio

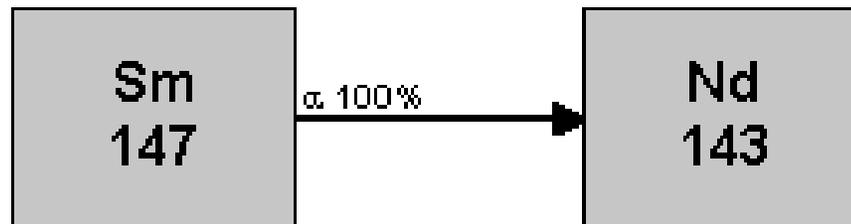
- Método utilizado para datar rocas ígneas
 - Rb - Común como elemento traza en muchos minerales de silicato
 - El isótopo ^{87}Rb decae a ^{87}Sr (decaimiento β) \rightarrow vida media 48 Ma.



- Las concentraciones de Rb y Sr en la roca medidos por Fluorescencia de rayos X
- Método alternativo \rightarrow datación de roca total

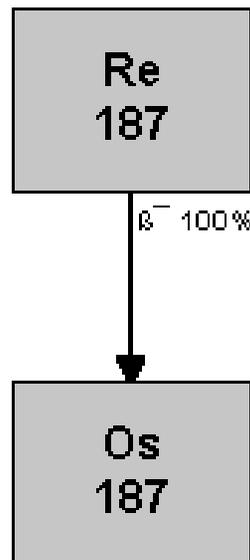
Samario-Neodimio

- Estos elementos se presentan normalmente solo en ppm en rocas (Elementos de Tierras raras).
 - El isótopo es ^{147}Sm , decae a ^{143}Nd (emisión de partículas α) \rightarrow vida media de 106 Ga.
 - Una ventaja es que los dos elementos se comportan de manera casi idéntica.
 - Se utiliza en el fechamiento rocas máficas y ultramáficas.
 - Minerales que se ocupan: olivino, granate, piroxeno, anfíbol.



Renio-Osmio

- Se produce en bajas concentraciones en la mayoría de las rocas.
 - Su isótopo natural más abundante ^{187}Re decae a ^{187}Os (decaimiento beta) \rightarrow vida media de 41.6 Ga.
 - Es utilizada en yacimientos de sulfuro y basaltos, también la edad de depósito de lutitas con alto contenido orgánico.

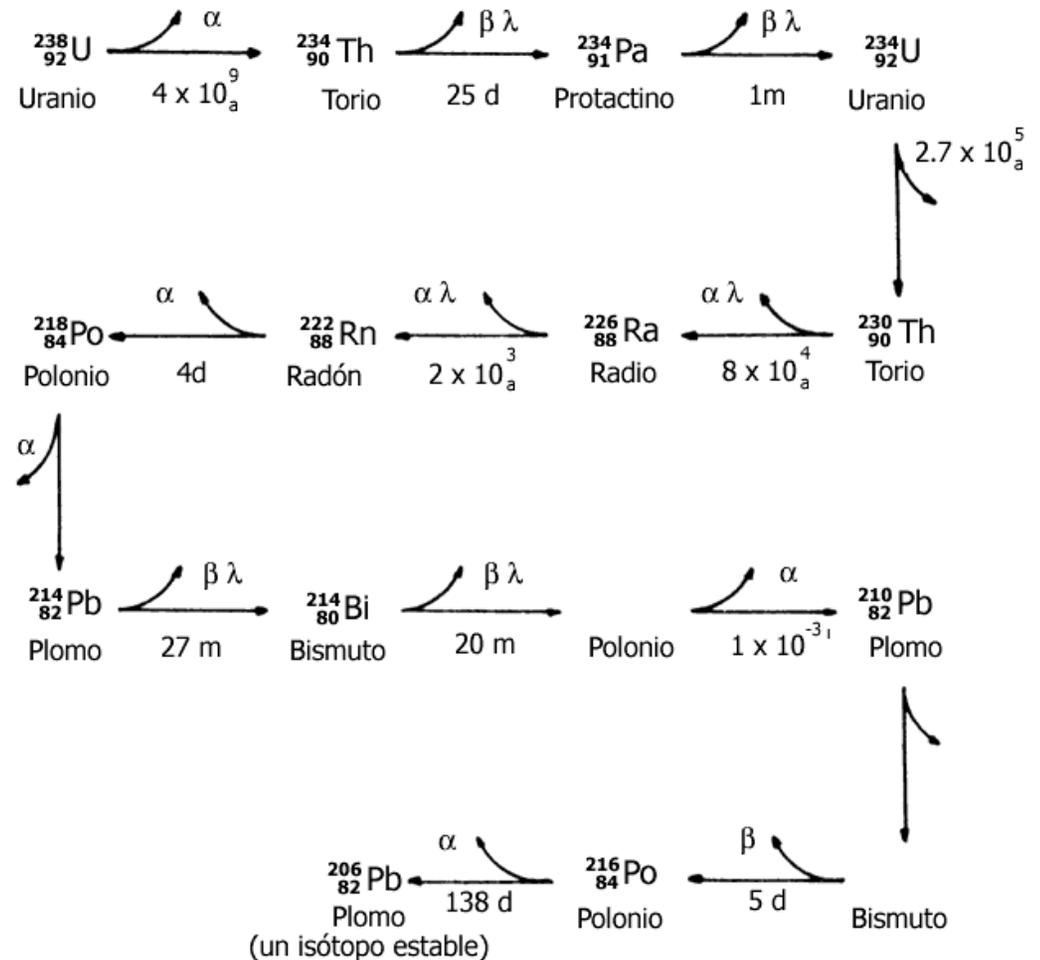


Uranio-Plomo

- Los isotopos del U son inestables, decaen a Radón, Torio, y Plomo. Dos decaimientos importantes en la datación radiométrica son:

^{238}U a ^{206}Pb → vida media 4,47 Ma.

^{235}U a ^{207}Pb → vida media 704 Ma.

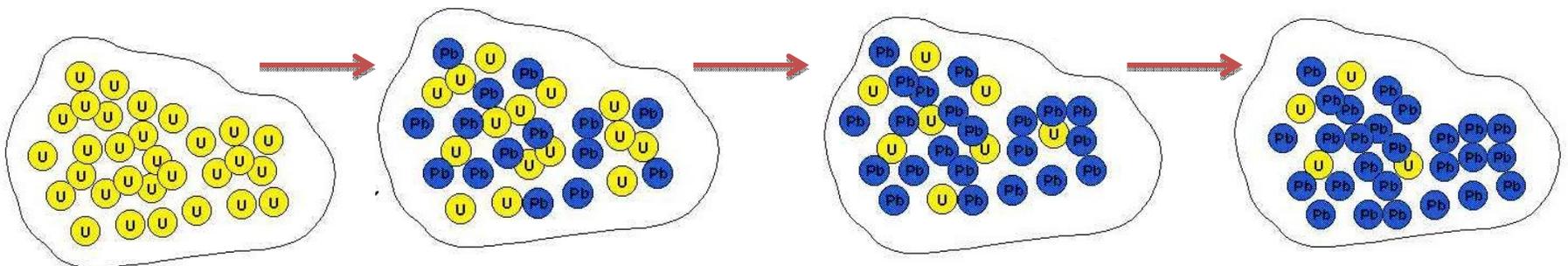


– Las proporciones de ^{238}U y ^{235}U son constantes

^{238}U con 99%

^{235}U con 0.7 %

- Minerales que se ocupan: el zircón, monacita, esfena y apatito.
- El fechamiento del zircón con U-Pb \rightarrow procedencia de los sedimentos
 - Zircón ayuda a establecer la edad de las rocas más antiguas en el mundo.



Aplicaciones del Fechamiento Radiométrico

- Única técnica que puede proporcionar edades absolutas de las rocas a través de la estratigrafía.
 - Se determina edad de la formación de minerales.
 - Limitada en su aplicación por los tipos de rocas que se pueden fechar.
 - No es posible fechar la formación de rocas compuestas por granos detríticos y esto excluye la mayoría de areniscas, lodolitas y conglomerados.
 - Ej. Las calizas (restos de organismos con partes duras de Ca, aragonita y calcita) no pueden ser fechados.
 - Una excepción es el mineral glauconita (mineral autigénico de ambientes marinos poco profundos) puede ser fechado por métodos de K-Ar y Ar-Ar, pero es fácilmente modificado.
 - Es usada en la formación de rocas ígneas, si no ha sido gravemente alterado o transformado.

- Las fechas de rocas metamórficas pueden proporcionar la edad del metamorfismo, aunque puede tener complicaciones → varias fases de metamorfismo.
- Las relaciones estratigráficas generales y edades isotópicas → correlacionar los cuerpos ígneos intrusivos.
- Las unidades separadas geográficamente de roca ígnea → determinación de las edades isotópicas de las rocas en cada localidad.
- La datación radiométrica también puede ser muy útil para demostrar la correspondencia entre cuerpos ígneos extrusivos. Los inconvenientes de correlación de este método son:
 - Limitada gama de litologías que pueden estar fechadas.
 - La precisión de los resultados.

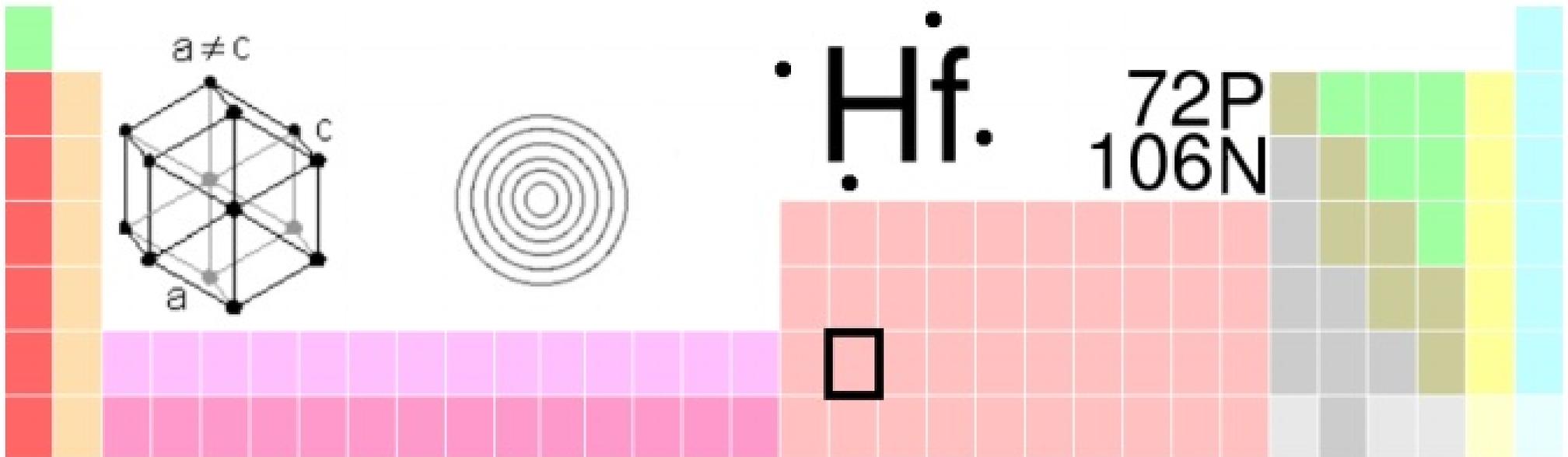
Particularmente
con rocas más
antiguas.

^{182}Hf - ^{182}W

Hafnio

- Es litófilo: Son aquellos que tienen una fuerte afinidad por el oxígeno, y silicatos para formar rocas. Son elementos que raramente se encuentran en estado nativo ya que el oxígeno abunda en la naturaleza.

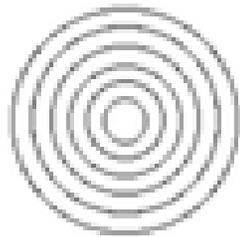
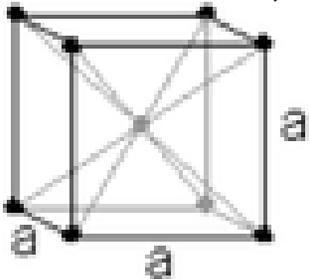
^{182}Hf - no existe hoy en la Tierra



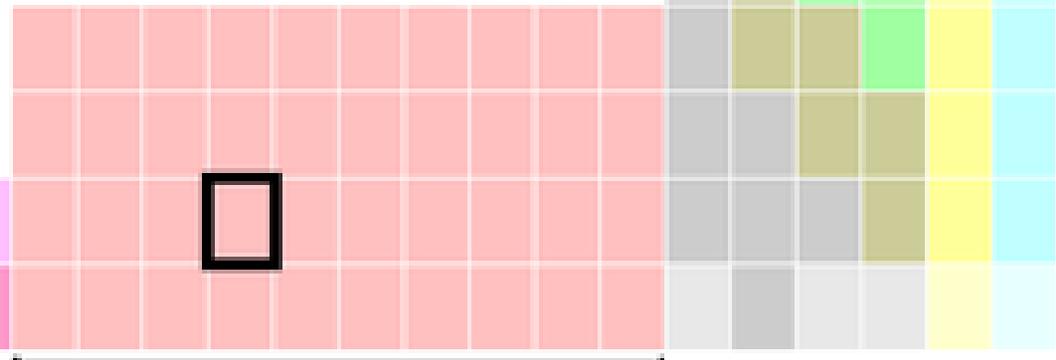
Tungsteno

- Es siderófilo: Presentan una débil afinidad por el azufre y por el oxígeno. Son los elementos que encontraremos en estado nativo. Están en pequeñas cantidades en el núcleo terrestre

^{182}W - si existe hoy, el manto terrestre tiene una importante anomalía de este isótopo, pues por ser siderófilo no debería estar en el manto sino, en el núcleo



74P
 110N



Meteorites

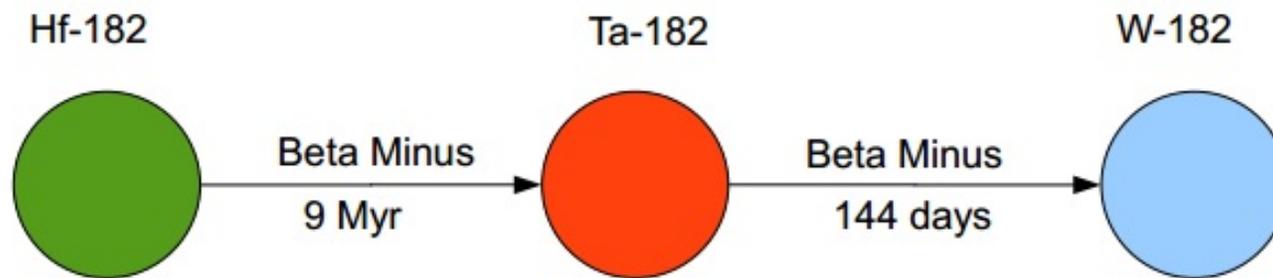
- **Chondrites**
 - Stony meteorites with “chondrules” (Gr. “seed”)
 - Building blocks of the planetary system
- **Achondrites**
 - Stony meteorites w/o “chondrules”
- **Stone Irons**
 - Resemble where the Earth core meets the mantle
- **Irons**
 - Resemble the outer core of the Earth

Differentiation



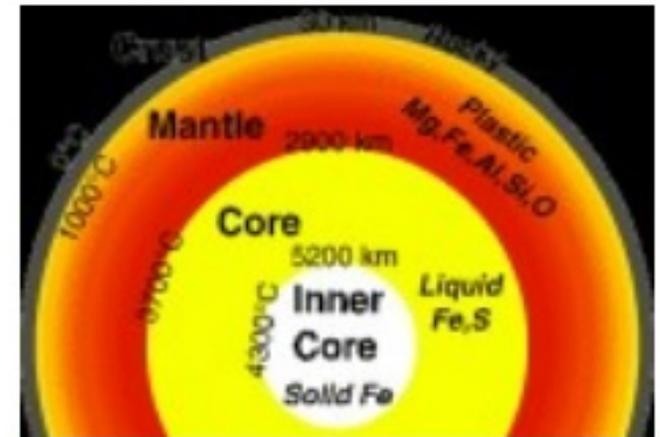
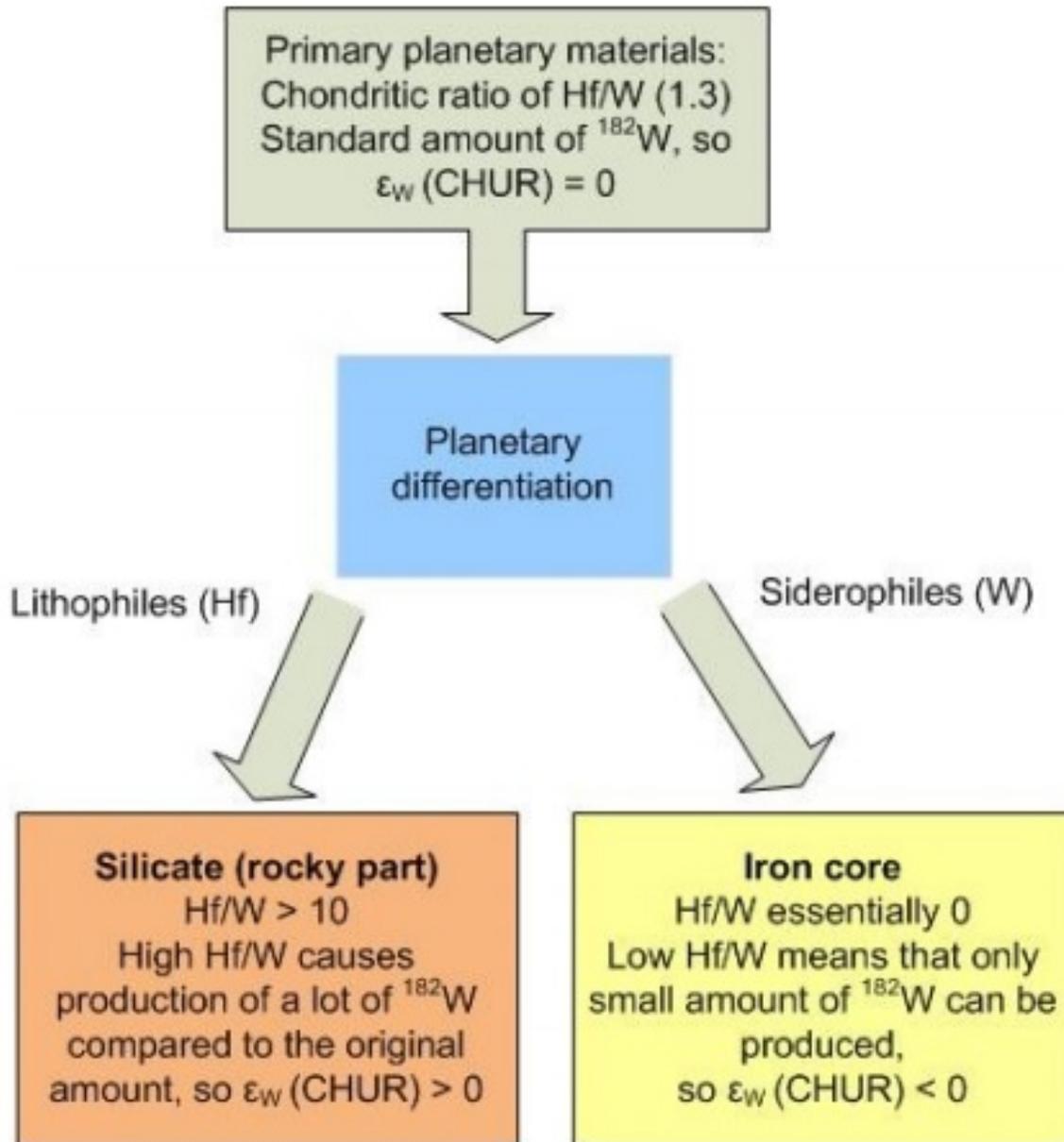


The Hf-W System



$${}^{182}\text{Hf}(t) = {}^{182}\text{Hf}_0 e^{-\lambda t}$$

Diferenciación Planetaria



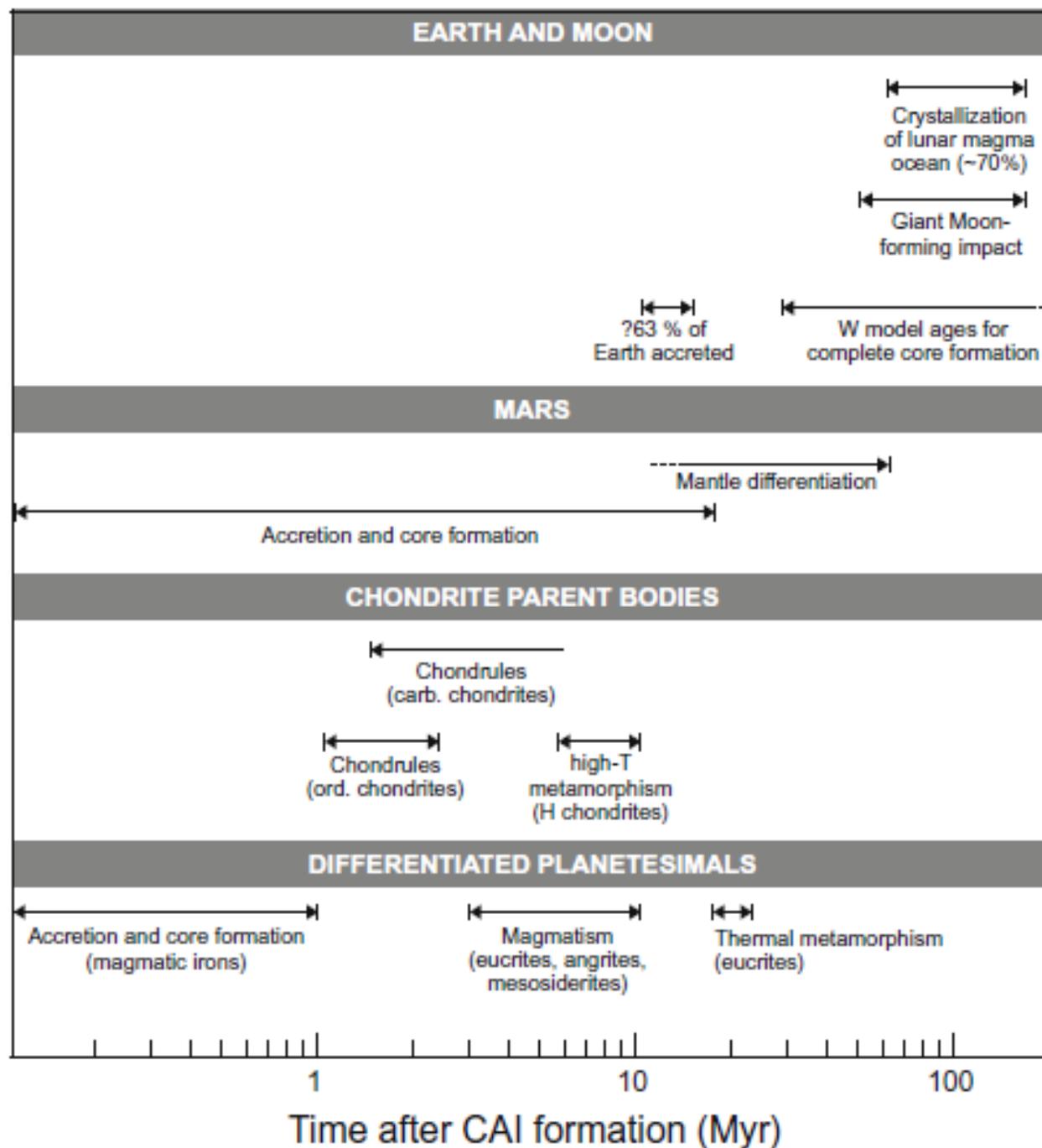


Fig. 22. Timing of events in the first ~100 Myr of the solar system as determined mostly by Hf–W chronometry.

Table 6
Summary of proposed Hf–W ages for the formation of Earth’s core.^a

Age	Based on	Accretion/core formation model	Metal-silicate re-equilibration	Reference
$t_{100\%} \sim 30$ Myr	$\Delta\varepsilon_W(\text{BSE}) = +1.9$	Two-stage	n.a.	Kleine et al. (2002); Schönberg et al. (2002a); Yin et al. (2002)
$t_{63\%} = 11$ Myr	$\Delta\varepsilon_W(\text{BSE}) = +1.9$	Continuous core formation during exponentially decreasing accretion	100%	Yin et al. (2002)
$t_{99\%} \sim 50$ – 100 Myr	$\Delta\varepsilon_W(\text{BSE}) = +1.9$	Continuous core formation during exponentially decreasing accretion	60–100%	Kleine et al. (2004b)
$t_{\text{GI}} \sim 55$ Myr	$\Delta\varepsilon_W(\text{BSE}) = +1.9$ $\text{Hf}/\text{W}_{\text{BSE}} = 15$ $\text{Hf}/\text{W}_{\text{BSI}} = 15$	Multiple giant impacts that occur at an overall exponentially decreasing rate	100% before the Moon-forming impact; 26% during the Moon-forming impact; batch equilibration	Halliday (2004)
$t_{\text{GI}} \sim 50$ Myr	$\Delta\varepsilon_W(\text{BSE}) = +1.9$ $\text{Hf}/\text{W}_{\text{BSE}} = 15$ $\text{Hf}/\text{W}_{\text{BSI}} = \text{Hf}/\text{W}_{\text{BSE}}$ $W_{\text{BSE}} = 5$ before the giant impact	Multiple giant impacts that occur at an overall exponentially decreasing rate	100% before the Moon-forming impact; 4% during the Moon-forming impact; batch equilibration	Halliday (2004)
$t_{63\%} \sim 11$ Myr; $t_{\text{GI}} \sim 32$ Myr	$\Delta\varepsilon_W(\text{BSE}) = +1.9$	Exponentially decreasing accretion, terminated by Moon-forming impact	100%; fully equilibrative plumbing	Jacobsen (2005)
$t_{\text{GI}} = 62^{+90}_{-10}$ Myr	$\Delta\varepsilon_W(\text{BSE}) = \Delta\varepsilon_W(\text{BSM})$ $\text{Hf}/\text{W}_{\text{BSE}} < \text{Hf}/\text{W}_{\text{BSM}}$	Independent on the accretion/core formation model	n.a.	Touboul et al. (2007)
$t_{63\%} \sim 10$ Myr; $t_{\text{GI}} \sim 100$ Myr	$\Delta\varepsilon_W(\text{BSE}) = +1.9$ $\Delta\varepsilon_W(\text{BSE}) = \Delta\varepsilon_W(\text{BSM})$	Exponentially decreasing accretion until ~ 40 Myr; no accretion until final Moon-forming impact at ~ 100 Myr	100%; batch equilibration	Halliday (2008)
$t_{\text{GI}} \sim 125$ Myr	$\Delta\varepsilon_W(\text{BSE}) = +1.9$	Multiple stochastic giant impacts	Variable	This study
$t_{\text{GI}} \sim 75$ Myr	$\Delta\varepsilon_W(\text{BSE}) = +1.9$	Multiple stochastic giant impacts	Variable	This study

^a BSE, bulk silicate Earth; BSM, bulk silicate Moon; BSI, bulk silicate impactor; GI, giant impact (i.e., the Moon-forming impact).

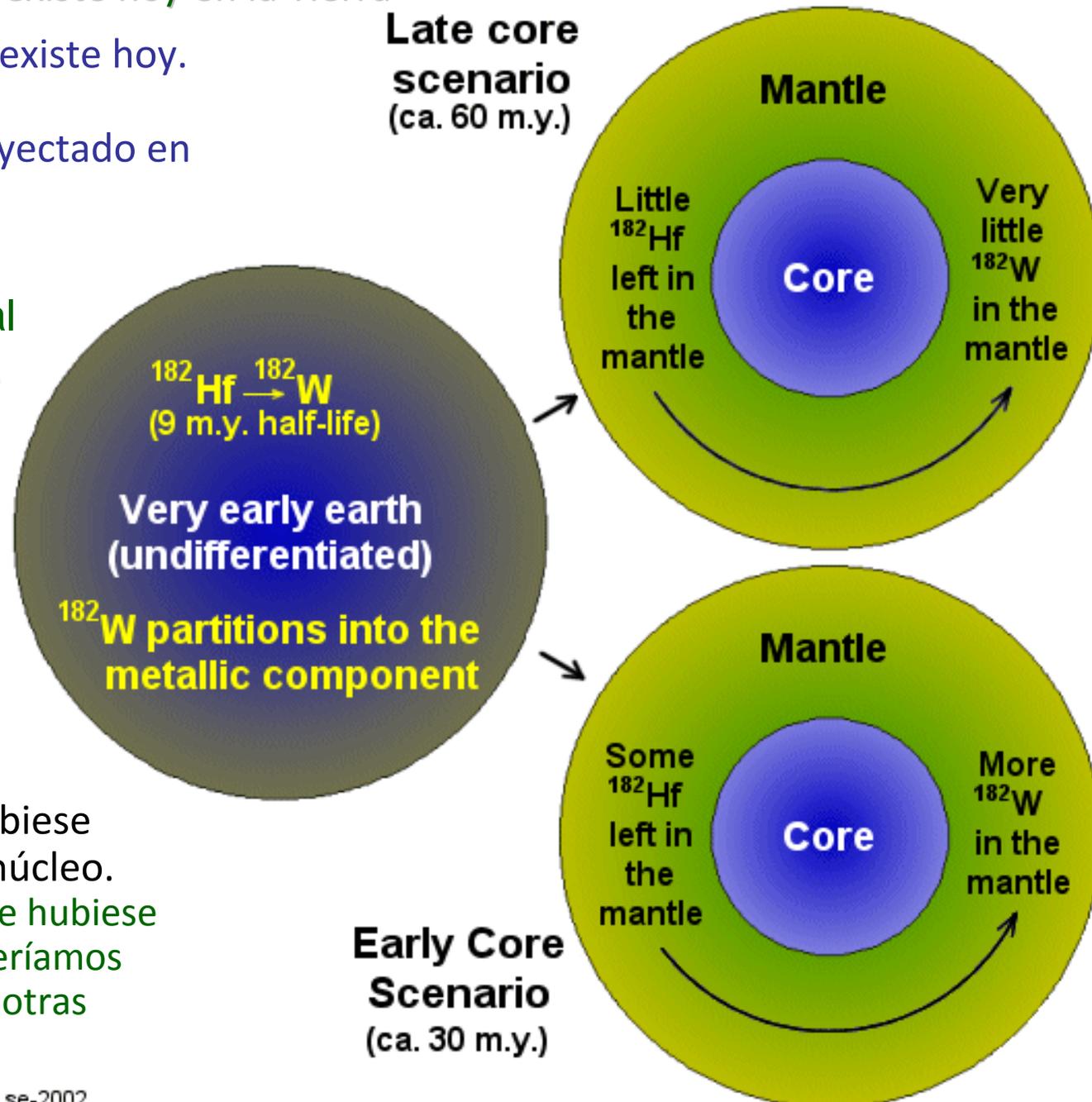
El Hf es litófilo, el ^{182}Hf ya no existe hoy en la Tierra

El W es siderófilo, el ^{182}W si existe hoy.
El manto está anómalamente enriquecido con él: material eyectado en el Hot Spot de Hawaii

¿Por qué, si es siderófilo?, que ¿no debió haberse ido al núcleo?. ¿Qué significa esta anomalía?

Lento: el Hf tuvo tiempo de transformarse en su β a W y este se habría ido al núcleo en formación. Hubiera quedado muy poco Hf en el manto que hoy lo veríamos como W (hubiera poco W en manto)

Rápido: solo parte del Hf se hubiese transformado a W yéndose al núcleo. Una cantidad importante de Hf se hubiese quedado en el manto, y hoy lo veríamos como W en β proporción que en otras partes de la Tierra





Otros Isótopos y Técnicas Químicas

Isótopos de estroncio

- Isótopos comunes: ^{86}Sr y ^{87}Sr
- Se encuentra en la calcita
- No minerales recristalizados
- Sólo minerales carbonatados de aguas marinas. (Excepción Aragonita)

No es una datación absoluta

Ejemplos:

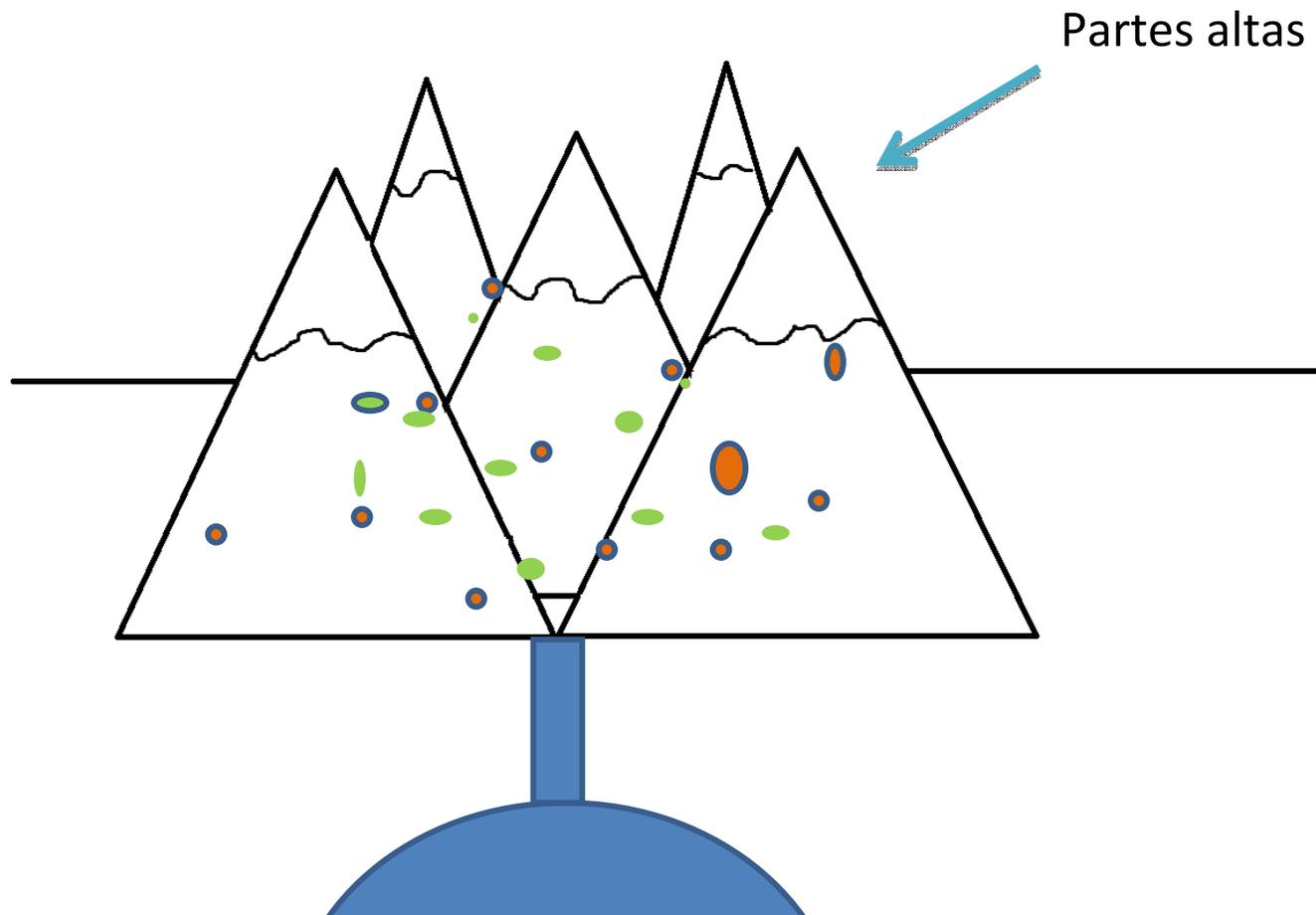
- Rocas carbonatadas del Fanerozoico indica que la proporción de estos isótopos en el mar ha cambiado.
- La subducción de la corteza oceánica tiene diferente proporción de ^{87}Sr y ^{86}Sr que el que tiene el manto; con ello se puede trazar el camino que deja la subducción a través del manto.

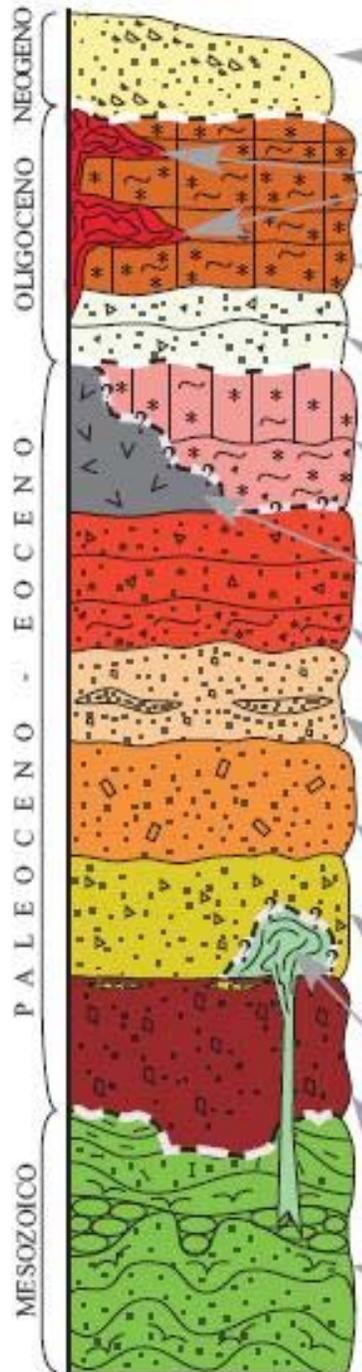
Técnicas Termo-cronológicas

- Determinar la edad a la que una roca estuvo a cierta temperatura.
- La datación K-Ar y Ar-Ar pueden ser usadas se restablecen entre 3,508 °C a 7,008°C (Decaimiento Reloj)
- Análisis de fisión:
 - Zircon (mayor a 300°C)
 - Apatito (mayor a 110°C)

Estratigrafía Química

- Δ Procedencia + Δ Mineralógica = Δ Química





- La aparición de nuevos tipos de clastos en la sucesión de sedimentos marcará el tiempo en el que la nueva fuente de sedimentos fue expuesta y erosionada.

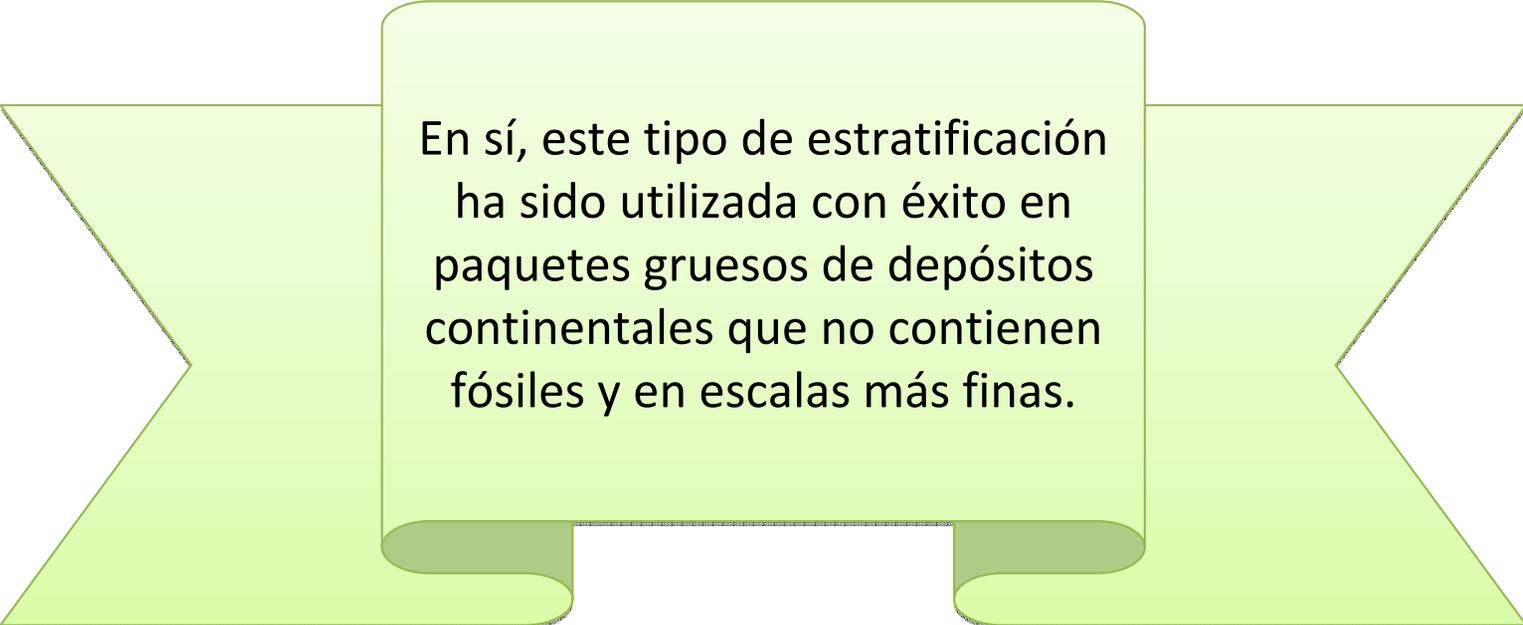
¹ Edades isotópicas obtenidas e

Técnicas

1. Análisis Químico: Rápido y fácil. (Difícil de interpretar)
2. Correlación con metales pesados (Más efectivo)
3. Análisis de minerales arcillosos

Limitaciones

- La ubicación de la proveniencia del material
- Variaciones del tamaño
- Alteración diagenética



En sí, este tipo de estratificación ha sido utilizada con éxito en paquetes gruesos de depósitos continentales que no contienen fósiles y en escalas más finas.

Bibliografía

- Nichols, G., 2009, Sedimentology and stratigraphic, Wiley-Blackwell
- W.M White, Geochemistry
- EL TERCER PLANETA. Edad, estructura y composición. Fondo de cultura económica.