

1. Calcule el cociente $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ de una muestra de roca que contiene 1.83 ppm Sm y 5.51 ppm Nd.

$$\begin{aligned} \text{Ab. } ^{147}\text{Sm} &= 15.0\%, \text{ Ab } ^{144}\text{Nd} = 23.9\% \\ \text{At.Wt. Sm} &= 150.36, \text{ At.Wt.Nd} = 144.24 \end{aligned} \quad \frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} = \left(\frac{1.83}{5.51} \right) \frac{144.24 \times 15.0}{150.36 \times 23.9} = \mathbf{0.1999}$$

2. ¿Cuál es la relación Sm / Nd medio integrada en el tiempo de una fuente de magma cuyo cociente actual $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ es 0.51300? Supongamos que $t = 4.60 \times 10^9$ y que el cociente inicial de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de la fuente de magma era 0.50684:

$$\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_i + \frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} (e^{\lambda t} - 1)$$

$$\lambda = 6.54 \times 10^{-12} \text{ y}^{-1}$$

$$\lambda t = 6.54 \times 10^{-12} \times 4.6 \times 10^9 = 30.084 \times 10^{-3}$$

$$e^{\lambda t} - 1 = 0.030541$$

$$0.51300 = 0.50684 + \frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} (0.03054)$$

$$\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} = \frac{0.51300 - 0.50684}{0.03054} = \mathbf{0.2017}$$

$$\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} = \frac{\text{Sm}}{\text{Nd}_{\text{conc}}} \times k$$

$$\left(\frac{\text{Sm}}{\text{Nd}} \right)_{\text{conc}} = \frac{0.2017}{0.60206} = \mathbf{0.335}$$

3. Calcule la relación $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de CHUR a un tiempo de hace 2.5×10^9 años, dado que $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})^0_{\text{CHUR}} = 0.512638$ y $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})^0_{\text{CHUR}} = 0.1967$.

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^t = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^0 - \frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} (e^{\lambda t} - 1)$$

$$\lambda t = 6.54 \times 10^{-12} \times 2.5 \times 10^9 = 16.35 \times 10^{-3}$$

$$e^{\lambda t} - 1 = 0.016484$$

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^t = 0.512638 - 0.1967 (0.016484)$$

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^t = \mathbf{0.509395}$$

4. Calcule el valor del parámetro epsilon para $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.51150$ para $t = 1.8 \times 10^9$ años.

$$\lambda t = 6.54 \times 10^{-12} \times 1.8 \times 10^9 = 11.772 \times 10^{-3}$$

$$e^{\lambda t} - 1 = 0.0118415$$

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^t = 0.512638 - 0.1967 \times 0.0118415$$

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^t = 0.510308$$

$$\epsilon^t(\text{Nd}) = \left(\frac{0.51150 - 0.510308}{0.510308} \right) \times 10^4$$

$$\epsilon^t(\text{Nd}) = + 23.35$$

5. Calcule una fecha modelo relativa a CHUR para una muestra de roca, dados los siguientes datos:

Sm = 0.580 ppm, Nd = 1.539 ppm, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.513101$

CHUR

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^t = 0.512638 - 0.1967 (e^{\lambda t} - 1)$$

Muestra de roca (R)

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{R}}^t = 0.513101 - \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} \right) (e^{\lambda t} - 1)$$

$$\left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{R}} = \left(\frac{0.580}{1.539} \right) \times 0.60206 = 0.22689$$

$$\text{Igualamos } \left(\frac{{}^{143}\text{Nd}}{{}^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^t = \left(\frac{{}^{143}\text{Nd}}{{}^{144}\text{Nd}} \right)_R^t$$

$$0.512638 - 0.1967 (e^{\lambda t} - 1) = 0.513101 - 0.22689 (e^{\lambda t} - 1)$$

Reacomodando:

$$0.513101 - 0.22689 (e^{\lambda t} - 1) = 0.512638 - 0.1967 (e^{\lambda t} - 1)$$

$$0.000463 = (0.22689 - 0.1967) (e^{\lambda t} - 1)$$

$$e^{\lambda t} = \frac{0.000463}{0.03019} + 1 = 1.015336$$

$$t = \frac{\ln 1.015336}{6.54 \times 10^{-12}} = 0.002327 \times 10^{12}$$

$$t = \mathbf{2.33 \text{ Ga}}$$

6. Un basalto de pigeonita (12039,19) recolectado por los astronautas del Apolo 12 del Océano de Storms en la Luna arrojó los siguientes resultados (Nyquist et al., 1979, 10 ° Lunar Planet. Sci. Conf., Geochim.Cosmochim. Acta. Suplemento, 77-114).

Muestra	${}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd}$	${}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd}$
Roca total	0.2090	0.513142
Plagioclasa	0.1727	0.512365
Piroxena	0.2434	0.5138611

a. Calcular la edad Sm-Nd por medio de una regresión de mínimos cuadrados con estos datos en una isócrona.

$$\text{Coeficiente de correlacion lineal} = 0.9997$$

$$\text{Pendiente (m)} = 0.021163$$

$$\text{Interseccion (b)} = 0.508712$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln (m + 1)$$

$$t = \frac{\ln 1.021163}{6.54 \times 10^{-12}} = 3.20 \text{ Ga}$$

b. Expresar el cociente $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ inicial de esta roca como un valor épsilon relativo a CHUR a un tiempo de 3.20 Ga

$$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \text{ cociente de CHUR a } 3.20 \times 10^9 \text{ años}$$

$$\lambda t = 6.54 \times 10^{-12} \times 3.2 \times 10^9 = 20.928 \times 10^{-3}$$

$$e^{\lambda t} - 1 = 0.0211485$$

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^t = 0.512638 - 0.1967 \times 0.0211485$$

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^t = 0.508478$$

$$\epsilon^t = \left(\frac{0.508712 - 0.508478}{0.508478} \right) \times 10^4$$

$$\epsilon^t = + 4.60$$

c. Estime el cociente Sm/Nd de las rocas fuente en el interior de la Luna, suponiendo que su cociente $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ primordial era 0.506609 (promedio de condritos carbonosos, Tabla 9.4) y que su edad actual es 4.6×10^9 años.

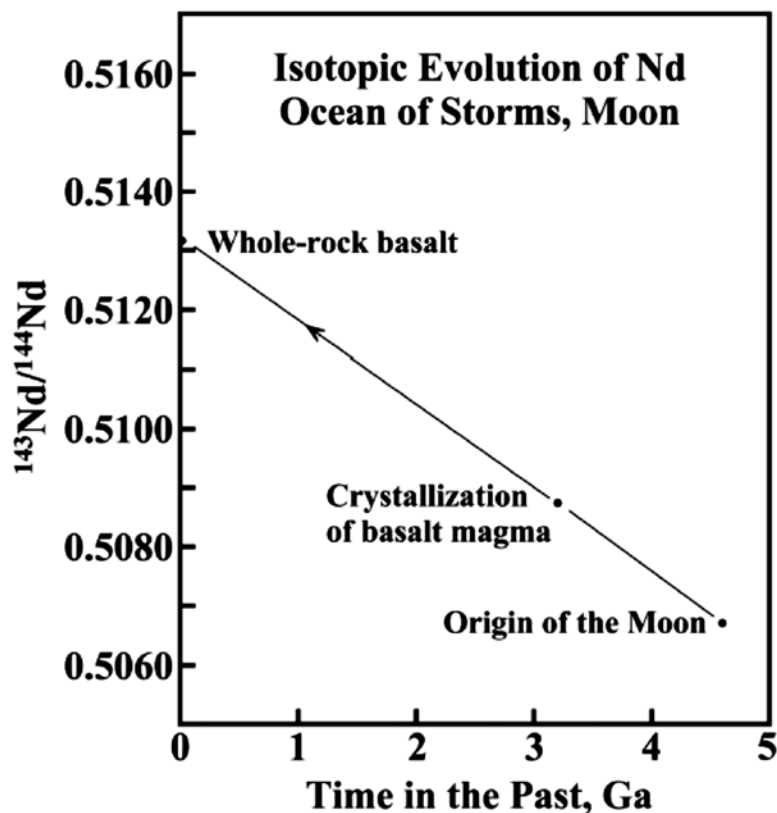
$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right) = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_i + \frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} (e^{\lambda t} - 1)$$

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right) = 0.513142, \text{ basalto lunar, actual}$$

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_i = 0.506609, \text{ magma source at 4.60 Ga}$$

$$t = 4.60 \times 10^9 \text{ y}$$

Tener en cuenta que el cociente $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ del magma de basalto a 3.2 Ga se encuentra en la línea recta que conecta la relación $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ primordial a 4.60 Ga con el valor presente de esta relación. Por lo tanto, la evidencia en el diagrama indica que el magma de basalto tenía el mismo cociente $^{147}\text{Sm}/^{146}\text{Nd}$ que la fuente de magma en el manto de la Luna. Por esta razón, podemos calcular el valor presente de la relación $^{143}\text{Sm}/^{146}\text{Nd}$ combinando los datos citados anteriormente.



$$\frac{{}^{147}\text{Sm}}{{}^{144}\text{Nd}} = \frac{{}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd} - ({}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd})_i}{e^{\lambda t} - 1}$$

$$\lambda t = 6.54 \times 10^{-12} \times 4.60 \times 10^9 = 30.084 \times 10^{-3}$$

$$e^{\lambda t} - 1 = 0.030541$$

$$\left(\frac{{}^{147}\text{Sm}}{{}^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{present}} = \frac{0.513142 - 0.506609}{0.030541}$$

$$\left(\frac{{}^{147}\text{Sm}}{{}^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{present}} = 0.2139$$

$$\frac{{}^{147}\text{Sm}}{{}^{144}\text{Nd}} = \left(\frac{\text{Sm}}{\text{Nd}} \right)_{\text{conc}} \times 0.60206$$

$$\left(\frac{\text{Sm}}{\text{Nd}} \right)_{\text{conc.}} = \left(\frac{0.2139}{0.60206} \right) = 0.355$$

Interpretación

La muestra de basalto lunar formada por la cristalización de magma hace 3.20 Ga y su cociente inicial ${}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd}$ en ese momento era 0.508712. El valor épsilon de + 4.6 del cociente inicial ${}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd}$ implica que el magma tenía una un cociente ${}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd}$ más alta que el hipotetico reservorio condritico uniforme (CHUR). Los enriquecimiento aparente en ${}^{143}\text{Nd}$ radiogénico de la fuente de magma subyacente al océano de tormentas puede haber sido causado por su enriquecimiento previo en ${}^{147}\text{Sm}$ mediante la removilización de un magma producto de fusión previa. En otras palabras, la fuente de magma se "agotó", aunque el evento de agotamiento aumentó el cociente ${}^{147}\text{Sm}/{}^{148}\text{Nd}$ del residuo sólido de acuerdo con las propiedades geoquímicas de Sm y Nd. El cociente Sm/Nd resultante (0.355) se asemeja a la de las fuentes de magma de **Mid-Ocean Ridge Basalts (MORB)** cuyo promedio actual de ${}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd}$ (0.513114) en la Figura 9.2 es similar a la del basalto lunar del Océano de las Tormentas.

7. Las rocas basálticas de los cinturones de rocas verdes de Zimbabwe han dado los siguientes resultados analíticos resultados (Hamilton et al., 1977, Earth Planet Sci. Letters, 36: 263- 268).

No.	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
1	0.2088	0.512868
2	0.2151	0.512872
3	0.2267	0.513101
4	0.1485	0.511785
5	0.1710	0.512104
6	0.1675	0.512183
7	0.2036	0.512796
8	0.1873	0.512426
9	0.1196	0.511221
10	0.1222	0.511352

a. Calcule una edad Sm-Nd para estas muestras de roca por regresión de mínimos cuadrados de los datos en una isócrona y trazar la isócrona a escala.

Observar el diagrama

Coefficiente de correlacion lineal = 0.99679

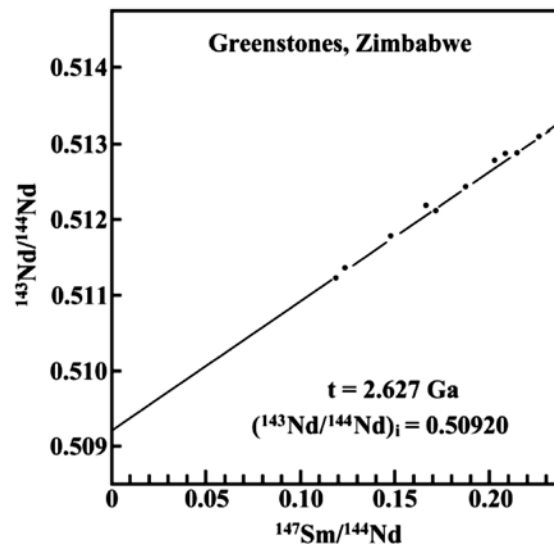
Pendiente (m) = 0.0173317

Interseccion (b) = 0.509202

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln (m + 1)$$

$$t = \frac{\ln 1.0173317}{6.54 \times 10^{-12}} = 0.002627 \times 10^{12} \text{ y}$$

$$t = 2.627 \text{ Ga}$$



Volver a calcular el cociente $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ inicial como un valor relativo a épsilon CHUR al valor indicado de la edad.

$$\lambda t = 6.54 \times 10^{-12} \times 2.627 \times 10^9 = 17.18 \times 10^{-3}$$

$$e^{\lambda t} - 1 = 0.017328$$

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^t = 0.512638 - 0.1967 \times 0.017328$$

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right)_{\text{CHUR}}^t = 0.509229$$

Greenstones

$$\epsilon^t = \left(\frac{0.509202 - 0.509229}{0.509229} \right) \times 10^4$$

$$\epsilon^t = -0.53$$

Interpretación

Las muestras del *green stone belt* cristalizaron hace 2.627 Ga (Arqueozoico tardío) con un cociente inicial de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.509202$. La interpretación de Hamilton et al. (1977) a través de una ponderada regresión lineal arrojó una edad de $t=2.64 \pm 0.14$ Ga y $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i = 0.50919$.

El valor $\epsilon_t(\text{Nd}) = -0.53$ indica que el magma podría haberse originado de un reservorio similar al CHUR con un pequeño componente de contaminación con Nd de origen cortical