Datación por Radiocarbono

La datación por radiocarbono es un método de datación radiométrica que utiliza el isótopo carbono-14 (^{14}C) para determinar la edad de materiales que contienen carbono hasta unos 60.000 años. Dentro de la arqueología es considerada una técnica de datación absoluta.

Química básica

En la naturaleza hay tres isótopos naturales del carbono, dos de ellos, el carbono-12 (^{12}C) y el carbono-13 (^{13}C), son estables y un tercero, el carbono-14, (^{14}C) es inestable o radiactivo. La abundancia natural del carbono-12 y del carbono-13 es 98,89% y 1,11% respectivamente, mientras que la del carbono-14 es de $1{,}0 \cdot 10^{-10}$ %. El carbono-14 tiene un **periodo de semidesintegración de 5730±40 años** y podría haber desaparecido de la Tierra hace mucho tiempo si no fuera por los constantes impactos de rayos cósmicos sobre el nitrógeno de su atmósfera, donde se forman más isótopos. (De hecho el mismo proceso ocurre en la atmósfera rica en nitrógeno del satélite de Saturno Titan.) Cuando los rayos cósmicos entran en la atmósfera, provocan varias reacciones nucleares, algunas de las cuales producen neutrones. Los neutrones resultantes reaccionan con algunos átomos de la moléculas de nitrógeno (N_2) en la atmósfera:

$$n + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \rightarrow {}^{14}_{6}\mathrm{C} + p$$

La tasa más alta de producción de carbono-14 tiene lugar en altitudes entre 9 y 15 km (30.000 y 50.000 pies), y en altas latitudes geomagnéticas, pero el carbono-14 se esparce uniformemente sobre la atmósfera y reacciona con el oxígeno para formar dióxido de carbono. Este dióxido de carbono también es absorbido por los océanos, disolviéndose en el agua. De forma aproximada se puede considerar que el flujo de rayos cósmicos es constante durante largos períodos, y, por tanto, que el ^{14}C se produce a un ritmo constante. De esta forma, la proporción de carbono radiactivo y no radiactivo permanece constante en la atmósfera. Esta proporción es de aproximadamente 1 parte por billón ($6 \cdot 10^9$ átomos por mol).

El proceso de fotosíntesis incorpora el átomo radiactivo en las plantas de manera que la proporción $^{14}C/^{12}C$ en éstas es similar a la atmosférica. Los animales incorporan, por ingestión, el carbono de las plantas. Ahora bien, tras la muerte de un organismo vivo no se incorporan nuevos átomos de ^{14}C a los tejidos y la concentración del isótopo va decreciendo conforme va transformándose en ^{14}N por decaimiento radiactivo:

$${}^{14}_{6}\mathrm{C} \rightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{N} + e^- + \bar{\nu}_e$$

Cálculo de edades

El ^{14}C decae de forma exponencial, es decir, la tasa de decaimiento disminuye de forma proporcional al número de átomos restante. La ecuación diferencial tiene la forma:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N.$$

cuya solución es:

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

donde:

N_0 = número de átomos de ^{14}C en el momento $t = 0$, o sea el momento inicial en el que se empieza a contar el número de desintegraciones,

N = número de átomos restante después de que haya transcurrido un tiempo t,

λ = constante de desintegración radiactiva, la probabilidad de desintegración por unidad de tiempo.

Recordemos que la constante de desintegración radiactiva se relaciona con la vida media y el periodo de semidesintegración de forma:

$t_{\frac{1}{2}} = t_{avg} \cdot \ln 2$ = semivida. Para el ^{14}C: $t_{\frac{1}{2}}$ = 5568 años.

$t_{avg} = \frac{1}{\lambda}$ = vida media. Para el ^{14}C: t_{avg} = 8033 años.

Los resultados obtenidos por este método se suelen dar en años antes del presente (years BP, en inglés). Teniendo esto en cuenta, la edad de una muestra vendrá dada por:

$$t(BP) = -\frac{1}{\lambda} \ln \frac{N}{N_0}$$

O, equivalentemente:

$$t(BP) = -t_{avg} \cdot \ln \frac{N}{N_0}$$

y

$$t(BP) = -t_{\frac{1}{2}} \cdot \log_2 \frac{N}{N_0}$$

Con cualquiera de estas ecuaciones podemos calcular la edad, en años, de una muestra arqueológica que contenga matera orgánica.

Ejemplo:

Se observa que la actividad radiactiva de una muestra de madera prehistórica es diez veces inferior a la de una muestra de igual masa de madera moderna. Sabiendo que el periodo de semidesintegración del ^{14}C es de 5600 años, calcula la antigüedad de la

primera muestra.

Respuesta

En primer lugar debemos considerar que la actividad de la muestra de madera prehistórica para t = 0 años era igual a la de la muestra de madera moderna, puesto que la cantidad de ^{14}C de las dos muestras debe ser la misma. Es decir:

$$A = \frac{A_0}{10}$$

Por otro lado, tenemos que:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

por lo que, para calcular t, se necesita conocer el valor de la constante de desintegración. El periodo de semidesintegración $t_{1/2}$ está relacionado con la constante de desintegración λ mediante:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{\ln(2)}{t_{\frac{1}{2}}} \quad \Rightarrow \quad \lambda = 1{,}24 \cdot 10^{-4}\, años$$

Llevando este resultado a la ecuación fundamental de la desintegración radiactiva, queda:

$$\frac{A_0}{10} = A_0 e^{-1{,}24 \cdot 10^{-4} t}$$

Simplificando y despejando el tiempo en esta última ecuación obtenemos:

$$t = 18500\, años$$

(Apuntes tomados principalmente de un artículo relacionado con el tema de la Wikipedia.)