



FECHAMIENTO POR RADIOCARBONO ¹⁴C

María Magdalena de los Ríos Paredes

Laboratorio de Fechamiento,

Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico INAH

Moneda 16, Centro Histórico, México, D.F.

Resumen

Se habla del método de datado por radiocarbono: fundamentos, materiales a los que se aplica, fecha que arroja, intervalo temporal al que se aplica, factores que alteran las fechas: insecticidas, solventes orgánicos, combustibles, pinturas, barnices, empaques inadecuados, humo de cigarrillo, intrusiones, perturbaciones, re-cristalización, intercambio isotópico, aguas carbonatadas, aguas geotérmicas, agua subterráneas, minas, volcanes, cercanía a la superficie, temperatura y humedad de almacenamiento, etc. Se define lo que es una edad radiocarbono convencional, se habla sobre la necesidad de su calibración y la existencia de diferentes curvas de calibración. Se subraya la diferencia entre el reservorio atmosférico y el marino y entre distintas partes de este último. Por último, se presentan algunos de los resultados obtenidos por el Laboratorio de Fechamiento del INAH contrastándolos con los de otros laboratorios.

Palabras clave: radiocarbono, calibración, edades, curva

Abstract

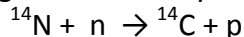
Refers to the radiocarbon dating method: fundamentals, materials and time interval to which it applies, dates which give, factors that alter the dates: insecticides, organic solvents, fuels, paints, varnishes, inadequate packaging, smoke cigarette, intrusion, disruption, re-crystallization isotopic exchange, carbonated waters, geothermal waters, ground water, mines, volcanoes, proximity to the surface, storage temperature and humidity, etc. Defines what is a conventional radiocarbon age; it talks about the need for calibration and the existence of different curves. Underlines the difference between the atmospheric and marine reservoir and between different parts of the latter. Lastly, presents some of the results obtained by the laboratory of radiocarbon dating of the INAH contrasting them with those of other laboratories.

Key Words: radiocarbon, calibration, ages, curve

Fundamentos

El principio fundamental del fechamiento por ¹⁴C se resume en los siguientes puntos:

1. El ¹⁴C es un isótopo inestable del carbón que se forma en la parte alta de la atmósfera debido a la interacción del nitrógeno con los rayos cósmicos. Efectuándose la reacción





2. La inestabilidad del ^{14}C le permite descomponerse al paso del tiempo, a una velocidad que depende de su vida media, dando lugar a nitrógeno y a electrones con energías variables. Mediante la reacción
$$^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e^- + \nu_e$$
3. El ^{14}C producido en la parte superior de la atmósfera terrestre, se difunde en ella y reacciona con el oxígeno para formar CO_2 , el cual se difunde en los océanos disolviéndose en el agua.
4. La cadena alimenticia permite que todo ser viviente intercambia ^{14}C con su medio ambiente.
5. La relación entre el carbón radiactivo y el no radiactivo en la atmósfera y los océanos, se supone constante ya que el ^{14}C se produce ininterrumpidamente a una velocidad dada, la que le permite el hecho de que el flujo de rayos cósmicos sea aproximadamente constante.
6. Cuando los seres vivos mueren, se interrumpe el mecanismo por el cual adquieren ^{14}C y este último disminuye entonces a una velocidad conocida determinada por la vida media del ^{14}C . (5730 años). La edad se calcula por medio de la ecuación:

$$t = -(1/\lambda) \ln A/A_0$$

donde:

$\lambda = 0.693/t_{1/2}$ donde $t_{1/2}$ es el tiempo de vida media del ^{14}C

A y A_0 son las actividades inicial y final del ^{14}C en el material a fechar

Supuestos de una edad radiocarbono convencional

Una Edad Radiocarbono Convencional es un intervalo temporal con una probabilidad dada cuyos límites están definidos por una media y una desviación, sus unidades son años ^{14}C y se calcula bajo los siguientes supuestos:

1. La vida media del ^{14}C es 5568 años, lo cual no es exacto,
2. Las edades se calculan empleando el estándar moderno de ácido oxálico I ó II o algún estándar secundario,
3. Las edades están corregidas por fraccionamiento isotópico,
4. El presente es el año 1950 d. C.,
5. Los reservorios de ^{14}C han permanecido sin cambio a través del tiempo, y
6. Las edades convencionales se expresan en años ^{14}C , como " $\mu \pm \sigma$ ".



Problemas con los supuestos básicos

Las plantas acuáticas toman su carbón de los carbonatos disueltos en el agua, los cuales no sólo provienen del bióxido de carbono disuelto en esta última, también de los materiales viejos de los que están hechos los vasos que la contienen. Debido a ello, el fechamiento por ^{14}C se complica, pues debe introducir factores de corrección especiales, para dichas plantas y los seres que de ellas se alimentan.

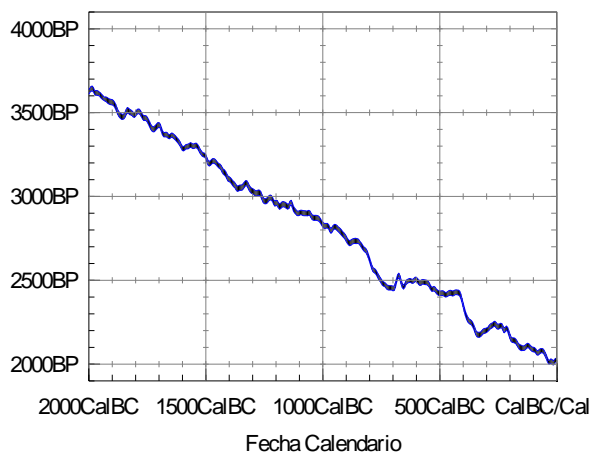
A escasos años del nacimiento del fechamiento por ^{14}C , de Vries en 1958, comprobó que la relación entre el carbón radiactivo y el no radiactivo en el CO_2 atmosférico, no era constante como se suponía. Esto generó la necesidad de compensar este efecto en las fechas obtenidas por la técnica de ^{14}C mediante el empleo de *curvas que relacionen las edades radiocarbono con las calendario*.

Además, otros factores como: a) la existencia de grandes reservorios de carbón en forma de materia orgánica en los océanos, en los sedimentos de los océanos y en las rocas sedimentarias, b) la alteración del flujo de carbón entre los reservorios y la atmósfera causada por los cambios climáticos, y c) las alteraciones de los niveles de ^{14}C ocasionadas por actividades del hombre tales como: la quema de carbón mineral, la quema de combustibles derivados del petróleo y las explosiones atómicas y nucleares, dan por resultado que no se cumplan a plenitud los supuestos en que descansa el fechamiento por radiocarbono. Por ello para compensar los efectos, se hace necesario el uso de *curvas de calibración* y la introducción de factores de corrección.

Por otra parte, existen otros factores que introducen en los seres vivos cantidades variables de carbón de edades diversas que modifican sus edades aparentes, rejuveneciéndolas o envejeciéndolas, según permitan la incorporación carbón viejo o nuevo.

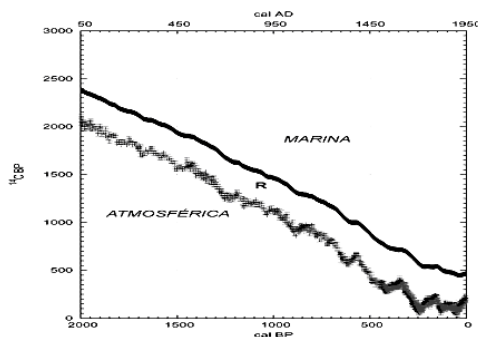
Calibración

La calibración es una técnica matemática que permite asociar una edad radiocarbono convencional a una fecha calendario. El instrumento empleado es la curva de calibración, que es un conjunto de pares ordenados edad radiocarbono-edad calendario, en el cual las edades calendario, deben ser obtenidas por cualquier técnica independiente que cumpla con los exigentes criterios implantados por los especialistas del tema. Con objeto de visualizar el concepto a continuación se muestra una sección de la curva de calibración Intcal04.



Diferencia entre el reservorio marino y el atmosférico

Entre las curvas de calibración marina y terrestre, existe una separación conocida como “*edad del reservorio marino*” denotada por la letra **R** y cuyo valor fluctúa entre los 260 y los 490 años ^{14}C desde el presente hasta los 3000 años calendario antes del presente. La diferencia entre las curvas marina y terrestre.



Diferencias entre distintas partes del reservorio marino

La calibración también se ve afectada por las características específicas del reservorio marino en que vivieron los seres cuyos restos sirven como muestra para el fechamiento. Este efecto se corrige tradicionalmente midiendo la edad del reservorio con relación a la edad de los mares en general e introduce en los fechamientos la corrección denotada como $\Delta R \pm \sigma_{\Delta R}$, donde ΔR es la corrección por reservorio y $\sigma_{\Delta R}$ es su desviación estándar.



Cuando lo que se fecha es un material marino, es indispensable saber su procedencia con el objeto de aplicar la corrección por reservorio marino correcta. Ejemplos de estos factores se pueden ver en la tabla a continuación.

| <u>Longitud</u> | <u>Latitud</u> | <u>ΔR</u> | <u>$\sigma_{\Delta R}$</u> | <u>Localidad</u> |
|-----------------|----------------|------------------------------|---------------------------------------|--|
| -110.00 | 24.00 | 253 | 18 | La Paz, Baja California Sur |
| -112.00 | 29.00 | 536 | 53 | Bahía Kino, Sonora. |
| -111.00 | 26.00 | 553 | 54 | Isla del Carmen, Baja California Sur |
| -111.00 | 28.00 | 450 | 50 | Isla Pájaro, Sonora |
| -112.00 | 26.67 | 337 | 55 | Bahía de Santa Inés, Baja California Sur |
| -111.00 | 28.00 | 400 | 50 | Playa Miramar, Guaymas, Sonora |
| -115.00 | 31.67 | 610 | 50 | Desembocadura del Río Colorado, Sonora |
| -115.00 | 31.08 | 634 | 55 | San Felipe, Baja California Norte |
| -113.67 | 31.30 | 549 | 70 | Puerto Peñasco, Sonora |
| -115.00 | 28.00 | 155 | 51 | Isla Cedro , Baja California Norte |
| -110.00 | 23.00 | 329 | 45 | Cabo San Lucas, Baja California Sur. |
| -106.00 | 23.00 | 203 | 48 | Mazatlán, Sinaloa. |
| -105.00 | 21.00 | 147 | 50 | Bahía de Banderas, Jalisco. |
| -104.00 | 19.00 | 221 | 50 | Manzanillo, Colima. |
| -96.00 | 16.00 | 162 | 50 | Bahía de Huatulco, Oaxaca. |

Aplicable

Algunos de los materiales a los que es aplicable la técnica son: carbón, madera, heces, turba, gyttja, sedimento orgánico, plantas, pelo, insectos, otolito de pescado, concha, coral, CaCO_3 , polen, agua (para extracción de carbón inorgánico, hueso, dientes, cuerno, hueso quemado y hueso cremado).



Fecha que arroja

La fecha que arroja es la fecha en que se rompe el equilibrio del ^{14}C entre la naturaleza y el material a fechar y con frecuencia coincide con la fecha de muerte del ser vivo al que perteneció el material.

Factores que alteran la fecha

Entre los factores más importantes que alteran las fechas tenemos:

1. CO_2 viejo:

a) Ambiente volcánico

El ambiente volcánico propicia grandes edades radiocarbono aparentes en los vegetales que han vivido sometidos a la influencia de sus emanaciones, ya que éstas últimas contienen CO_2 viejo, es decir CO_2 formado por carbón empobrecido o sin ^{14}C . Esto se demuestra en la Tabla 7, donde se observa que un vegetal vive lejos de un centro emisor de gases volcánicos, no muestra ninguna edad aparente, pero en caso que viva cerca de un centro emisor, puede aparentar edades diversas.

b) Cercanía a minas

Las emanaciones de las minas al igual que las emanaciones volcánicas contienen CO_2 empobrecido en ^{14}C por lo cual, tanto los materiales dejados en su interior como los vegetales vivos en las cercanías de la boca de la mina, muestran grandes edades aparentes cuando se les fecha por radiocarbono.

2. **Sustancias orgánicas tales como: repelentes, insecticidas, solventes, combustibles, etc.**

3. **Proceso de empacado inapropiado: alta humedad, etiqueta en contacto con la muestra, empaques de naturaleza semejante al de la muestra.**

4. **Contaminación con: humo de cigarro, material de otra capa, grasa de las manos, etc.**

5. **Intrusión:**

Intrusión es la acción por la cual unos materiales se introducen en otros preexistentes. Si los materiales intruidos contienen carbón en una forma química que reaccione de manera semejante a la del material original durante su purificación y transformación en orden al fechamiento, existe probabilidad de que las fechas radiocarbono de este



último se alteren. Un caso de particular importancia lo constituye la intrusión de raíces en madera o carbón.

6. **Adsorción de ácidos húmicos:**

Los ácidos húmicos son polímeros orgánicos de alto peso molecular de color negro o café oscuro, que se encuentran principalmente en los suelos producto de la degradación de plantas muertas. Tienen la propiedad de intercambiar carbón o adherirse a las muestras con grandes áreas superficiales y hacer los resultados del fechamiento por radiocarbono demasiado recientes.

7. **Intercambio isotópico:**

El intercambio isotópico se presenta cuando las conchas intercambian carbón con los ácidos que se filtran en la tierra, alterando las relaciones isotópicas y afectando su edad 'real'. Este proceso se presenta en las superficies externas de la concha en ambientes terrestres y es común en muestras encontradas bajo la capa freática (Hogg, 1982:8).

8. **Recristalización:**

La recristalización se refiere a la transformación de la aragonita de la concha en calcita, involucrando frecuentemente intercambio con calcita moderna, y subsecuentemente alterando las relaciones isotópicas.

9. **Perturbaciones**

Existen numerosas definiciones de perturbación entre las que se encuentran:

- alteración del desarrollo normal de un proceso.
- tanto la acción de modificar el estado de algo, como su resultado.
- sucesos raros, poco comunes, que provocan un cambio abrupto de las características estructurales de los sistemas naturales y los desplazan de su situación de equilibrio.
- suceso discreto en el tiempo (puntual, no habitual) que altera la estructura de los ecosistemas, de las comunidades o de las poblaciones y cambia los recursos, la disponibilidad de hábitat aptos y/o el medio físico.

Existen perturbaciones naturales y artificiales o antrópicas. Entre las perturbaciones naturales están el fuego, las avalanchas de nieve, fenómenos meteorológicos extremos (vientos intensos, temperaturas anormalmente altas o bajas), inundaciones y deposición de partículas, las plagas de insectos, las enfermedades y algunos mamíferos.



10. **Carbonatos y Contexto calcáreo:**

El porcentaje de carbón moderno (pMC) de vegetales vivos que crecieron y se desarrollaron sumergidos o semisumergidos en aguas calcáreas. De los pMC en la Tabla 6, es claro que para cada especie de vegetal, el efecto de las aguas es diferente, pero en general los porcentajes de carbón moderno tienden a asemejarse al de las aguas.

11. **Cercanía a la capa freática:**

La *capa freática* es el acuífero subterráneo que se encuentra a poca profundidad relativa. Un *acuífero* es aquella área bajo la superficie de la tierra donde el agua de la superficie infiltra y se almacena.

Una formación acuífera es definida por una base impermeable (muro), y por un techo, que puede ser libre, semipermeable o impermeable. La zona del subsuelo en la que los huecos están llenos de agua se llama *zona saturada*. El nivel superior de la zona freática a presión atmosférica, se conoce como nivel freático. El nivel freático puede encontrarse a muy diferentes profundidades, dependiendo de las circunstancias geológicas y climáticas, desde sólo unos centímetros hasta decenas de metros por debajo de la superficie. El nivel freático no es horizontal, sino irregular, con pendiente monótonamente decreciente desde el nivel fijo superior al nivel fijo inferior. Por encima de la zona saturada, desde el nivel freático hasta la superficie, se encuentra la zona no saturada o zona vadosa, en la que la circulación es principalmente vertical, representada por la percolación, que es la circulación movida por la gravedad, del agua de infiltración. En la Figura 5 se muestran varios posibles casos de acuíferos.

El agua es capaz de transportar materia orgánica soluble de una capa de tierra a otra, por lo que el agua de lluvia que se infiltra en la tierra, puede llevar materia orgánica soluble de las capas superficiales a la capa freática. Si un trozo de carbón o madera se encuentra ubicado al interior de la zona de saturación de un acuífero, es claro que la materia orgánica acarreada por el agua ha penetrado el carbón contaminándolo.

12. **Cercanía a la superficie:**

A partir de la revolución industrial, aproximadamente desde 1750 AD, se han lanzado artificialmente a la atmósfera terrestre cantidades diversas de carbón viejo y nuevo. Esto ha dado por resultado variaciones artificiales en la cantidad de ^{14}C no solamente en la atmósfera, sino en los mares y en los materiales cercanos en la superficie terrestre, ya que existen mecanismos de intercambio entre ellos y la atmósfera. Los eventos que han afectado abruptamente el contenido de ^{14}C en la atmósfera son las explosiones nucleares.

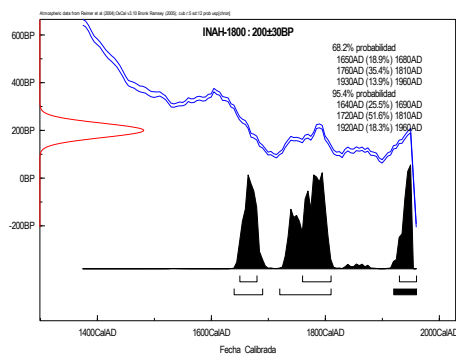


13. *Temperatura y humedad de almacenamiento altas, etc.*

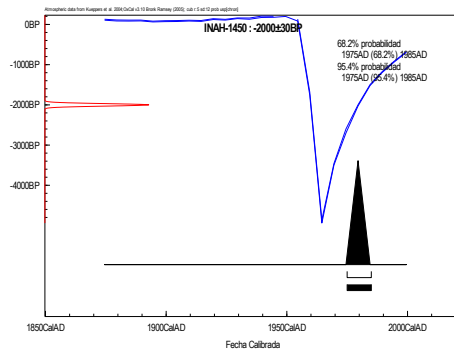
Cuando se trata de preservar un material, especialmente si va a ser fechado por ^{14}C , deben cuidarse la temperatura y humedad de almacenamiento, con el fin de evitar que los microorganismos tengan las condiciones necesarias para su crecimiento. Se recomienda controlar la humedad relativa, (RH), entre el 45% y el 55% y la temperatura entre 18°C y 20°C (64°F a 68°F.) para que la germinación de esporas sea menos probable.

Intervalo temporal al que se aplica

La técnica de datado por radiocarbono se aplica a muestras que tienen edades entre 300 años BP a 40,000 años BP. Los efectos de la variación del carbono en la atmósfera por la revolución industrial, generan una enorme variación en la curva de calibración asociada a edades menores de 300 años BP. Este problema puede observarse en la figura a continuación



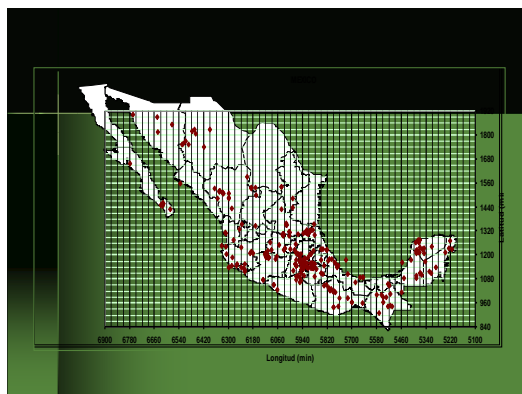
Sin embargo, el contenido de ^{14}C en la atmósfera debido a las explosiones nucleares, permiten conocer con excelente precisión fechas entre 1950 d. C. hasta nuestros días.





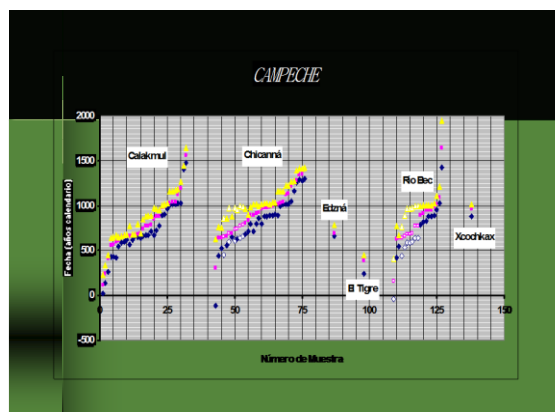
Trabajo realizado por el Laboratorio de Radiocarbono del INAH

En realidad el trabajo realizado por el Laboratorio de Radiocarbono del INAH abarca una gran cantidad de sitios arqueológicos en la República Mexicana. La gráfica latitud longitud de los sitios fechas semeja ya el cuerno de la abundancia.



Meses después de la fundación del Laboratorio, su personal se dedicó a reunir los datos más importantes de las muestras trabajadas de tal manera de tener una base de datos que permitiese contextualizarlas.

El personal del laboratorio ha realizado diversos trabajos a fin de agrupar y comparar las fechas obtenidas para diferentes sitios un ejemplo aparece en la siguiente figura.



Actualmente se preparan algunos catálogos de fechas con el deseo de publicar el trabajo realizado en el Laboratorio.



Conclusión

Este escrito no es sino un breve y muy general resumen de lo que es el fechamiento por radiocarbono, los problemas que presenta y los datos que mediante su empleo se obtuvieron.

Bibliografía

- Bruns, M., I. Levin, K. O. Munnich y H. H. Hubberten. 1980. Regional sources of volcanic carbon dioxide and their influence on ^{14}C content of present-day plant material. *Radiocarbon*, 22(2):532-536.
- Caughley G. 1988. The colonisation of New Zealand by the Polynesians. *Journal of the Royal Society* 18(3): 245–70.
- Druffel, E. R. M. 1996. Post-bomb radiocarbon records of surface corals from the tropical Atlantic Ocean. *Radiocarbon*, 38: 563-572.
- Druffel, E. R. M, S. Honjo, S. Griffin y C. S. Wong. 1986. Radiocarbon in particulate matter from the eastern Sub-Arctic Pacific Ocean: evidence of a source of terrestrial carbon to the deep sea. *Radiocarbon*, 28(2 A):397-407.
- Gamo, T., Y. Horibe y H. Kobayashi. 1987. Comparison of oceanic ^{14}C data with those of geosecs: vertical profiles in 1973 (Geosecs) and in 1980 at (30° N, 170° E) in the northwestern Pacific Ocean. *Radiocarbon*, 29(1):53-56.
- Garlick, J. D. 1969. Buried bone. Pp. 503-512, *in*: Science in archaeology: a survey of progress and research (Brothwell, D. y E. Higgs, eds.). Great Britain: Thames and Hudson.
- Geyh, M. A. y B. Sofner. 1989. Groundwater analysis of environmental carbon and other isotopes from the Jakarta Basin aquifer. *Radiocarbon*, 31(3):919-925.
- Goslar, T., W. O. van der Knaap, S. Hicks, M. Andrič, J. Czernik, E. Goslar, S. Räsänen y H. Hyötylä. 2005. Radiocarbon dating of modern peat profiles: pre- and post-bomb ^{14}C variations in the construction of age-depth models. *Radiocarbon*, 47(1):115–134.



- Gupta, S.K. y H. A. Polach. 1985. Radiocarbon dating practices at ANU: handbook. Radiocarbon Dating Laboratory, Research School of Pacific Studies, ANU, Canberra.
- Hassan, A. A., J. D. Termine y C. V. Haynes, Jr. 1977. Mineralogical studies on bone apatite and their implications for radiocarbon dating. *Radiocarbon*, 19(3):364-374.
- Hedges, R. E. M y G. J. van Klinken. 1992. A review of current approaches in the pretreatment of bone for radiocarbon dating by AMS. *Radiocarbon*, 34(3):279-291.
- Hickson, J.A., A.L.A. Johnson, T.H.E. Heaton, and P. Balson (1999), The shell of the queen scallop *Aequipecten opercularis* (L.) as a promising tool for paleoenvironmental reconstruction: Evidence and reasons for equilibrium stable-isotope incorporation, *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.*, 154, 325-337.
- Hogg, A. G. (1982). Radiocarbon dating at the University of Waikato, New Zealand. Occasion Report No. 8. University of Waikato, Department of Earth Sciences.
- Hughen, K. A., M. G. L. Baillie, E. Bard, J. W. Beck, C. J. H. Bertrand, P. G. Blackwell, C. E. Buck, G. S. Burr, K. B. Cutler, P. E. Damon, R. L. Edwards, R. G. Fairbanks, M. Friedrich, T. P. Guilderson, B. Kromer, G. McCormac, S. Manning, C. B. Ramsey, P. J. Reimer, R. W. Reimer, S. Remmele, J. R. Southon, M. Stuiver, S. Talamo, F. W. Taylor, J. van der Plicht y C. E. Weyhenmeyer. 2004. Marine04 Marine radiocarbon age calibration, 0–26 Cal Kyr B P. *Radiocarbon*, 46(3) : 1059–1086.
- Keith, M. L., G. M. Anderson y R. Eichler. 1964. Carbon and oxygen isotopic composition of mollusk shells from marine and freshwater environments. *Geochim Cosmochim Acta*, 28:1757–1786.
- Levin, I. y B Kromer. 1997. Twenty years of atmospheric CO₂ observations at Schauinsland Station, Germany. *Radiocarbon*, 39(2):205-218.
- Littlewood, D. T. J. y R. E. Young. 1994. The effect of air-gaping behavior on extrapallial fluid pH in the tropical oyster *Crassostrea rhizophorae*. *Comparative Biochemistry and Physiology, part A Physiology*, 107(1):1-6.



- Long, A., A. T. Wilson, R. D. Ernst, B. H. Gore y P. E. Hare. 1989. AMS radiocarbon dating of bones at Arizona. *Radiocarbon*, 31(3):231-38.
- Lowenstan, H. A. y S. Weimer. 1989. *On biomineralization*. Oxford University Press, New York.
- Mangerud, J. y S. Skreden. 1972. Fossil ice wedges and ground wedges in sediments below till at Voss, western Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 52:73-96.
- McConnaughey, T. A. y D. P. Gillikin. 2008. Carbon isotopes in mollusk shell carbonates. *Geo-Marine Letters*, 28: 287-299.
- McCormac, F. G., A. G. Hogg, P. G. Blackwell, C. E. Buck, T. F. Higham y P. Reimer. 2004. SHCal04 Southern Hemisphere Calibration, 0–11.0 Cal Kyr BP. *Radiocarbon*, 46(3):1087–1092.
- Pazdur, A., T. Goslar, M. Pawlyt, H. Hercman y M. Gradzinski. 1999. Variations of isotopic composition of carbon in the karst environment from southern Poland, present and past. *Radiocarbon*, 41(1):81-97.
- Povinec, P. P., T. Aramaki, G. S. Burr, A. J. T. Jull, L. Liang Wee Kwong y O. Togawa. 2004. Radiocarbon in the water column of the southwestern North Pacific Ocean: 24 years after GEOSECS. *Radiocarbon*, 46(2): 583-594.
- Pritchard, J. J. 1974. *Bones*. Oxford University Press, London.
- Protsch, R. 1991. Dating of bones in archaeology and anthropology. Pp. 271-30, *in*: Scientific dating method (Golksu, H.U, M. Oberhofer y D. Regulla, eds.). *Advanced Science and Technology*, Vol. 1. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Reimer, P. J., M. G. L. Baillie, E. Bard, A. Bayliss, J. W. Beck, C. J. H. Bertrand, P. G. Blackwell, C. E. Buck, G. S. Burr, K. B. Cutler, P. E. Damon, R. L. Edwards, R. G. Fairbanks, M. Friedrich, T. P. Guilderson, A. G. Hogg, K. A. Hughen, B. Kromer, G. McCormac, S. Manning, C. B. Ramsey, R. W. Reimer, S. Remmele, J. R. Southon, M. Stuiver, S. Talamo, F. W. Taylor, J. van der Plicht y C. E. Weyhenmeyer. 2004.



- IntCal04 Terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 Cal Kyr BP. *Radiocarbon*, 46(3):1029–1058.
- Saupe, F., O. Strappa, R. Coppens, B. Guillet y R. Jaegy. 1980. A possible source of error in ^{14}C dates: volcanic emanations. *Radiocarbon*, 22(2):525-531.
- Smith, E. L., R. L. Hill, I. R. Lehman, R. J. Lefkowitz, P. Handler y A. White. 1983. Principles of biochemistry: mammalian biochemistry. McGraw-Hill Book Company, 7th edition, New York.
- Stafford, T. W. Jr., A. J. Jull, K. Brendel, R. C. Duhamel y D. Donahue. 1987. Study of bone radiocarbon dating accuracy at the University of Arizona NSF accelerator facility for radioisotope analysis. *Radiocarbon*, 29(1):24-44.
- Stafford, T. W. Jr., K. Brendel y R. C. Duhamel. 1988. Radiocarbon ^{13}C and ^{15}N analysis of fossil bone: removal of humates with XAD-2 resin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52:2257-2267.
- Stafford, T. W. Jr., K. Brendel y R. C. Duhamel. 1991. Accelerator radiocarbon dating at the molecular level. *Journal of Archaeological Sciences*, 18:35-72.
- Stuiver, M. y R. S. Kra (eds.). 1986. *Radiocarbon*, 28(2B).
- Stuiver, M. y H. A. Polach. 1977. Discussion: reporting of ^{14}C data. *Radiocarbon*, 19(3):355-363.
- Stuiver, M. y P. J. Reimer. 1993. Extended ^{14}C data base and revised Calib 3.0 ^{14}C Age Calibration Program. *Radiocarbon*, 35:215-230.
- Stuiver, M., A. Long y R. S. Kra (eds.). 1993. *Radiocarbon*, 35(1).
- Stuiver, M., P. J. Reimer, E. Bard, J. W. Beck, G. S. Burr, K. A. Hughen, B. Kromer, F. G. McCormac, J. v. d. Plicht y M. Spurk. 1998. IntCal98 Radiocarbon Age Calibration, 24,000-0 Cal BP. *Radiocarbon*, 40(3):1041-1083.
- Sveinbjornsd Ottir, A. E., J. Heinemeier, N. Rud y S. J. Johnsen. 1992. Radiocarbon anomalies observed for plants growing in Icelandic geothermal waters. *Radiocarbon*, 34(3):696-703.



- Tanaka, N., M. Monaghan y D. M. Rye. 1986. Contribution of metabolic carbon to mollusc and barnacle shell carbonate. *Nature*, 320:520–523.
- Taylor, R. E. 1982. Problems in the radiocarbon dating of bone. Pp. 453-473, *in*: Nuclear and chemical dating techniques: interpreting the environmental record (L. A. Currie, ed.). American Chemical Society, Washington, DC.
- Waterlow, J.C., P.J. Garlick y D.J. Millward. 1978. Protein turnover in mammalian tissues and in the whole body. North-Holland Publishing Company, Ámsterdam.
- Woodhead-Galloway, J. 1980. Collagen: the anatomy of a protein. E. Arnold, London.