

CALIBRADO DE LAS FECHAS CONVENCIONALES DE CARBONO-14

por

Cecilio González-Gómez *

Resumen: Las edades obtenidas en la datación por Carbono-14 no son, en general, exactamente coincidentes con las edades verdaderas o calendáricas. Varios factores distintos de la simple desintegración radiactiva pueden afectar a la concentración del ^{14}C en las plantas o en los animales. Sin embargo el principal factor que puede afectar esta discrepancia son las fluctuaciones del flujo neutrónico atmosférico, debidas probablemente a variaciones en el campo magnético terrestre a lo largo del tiempo.

La dendrocronología provee el eslabón fundamental para relacionar las edades Carbono-14 y las edades reales o calendáricas. Con el fin de poder establecer una correlación entre las fechas obtenidas con el Carbono-14 y las reales, se han realizado un elevado número de dataciones de anillos de árboles de edades conocidas determinadas por dendrocronología y se han trazado curvas de calibrado a partir de los resultados obtenidos en dichas dataciones.

Una curva de calibrado es una representación gráfica de las edades obtenidas a partir de muestras de anillos de árboles de edades progresivamente crecientes comparándolas con sus edades reales o calendáricas obtenidas por datación dendrocronológica. Uno de los aspectos de la calibración, que pudiera crear confusión en la conversión de una edad Carbono-14 en otra calendárica es debido al hecho de que dos muestras con diferente edad real, puedan conducir a una misma edad por el método del Carbono-14. Ello es debido a la propia forma de la curva de calibrado. Las curvas de calibrado publicadas más recientemente, permiten el calibrado de edades próximas hasta unos 10.000 años BC.

Los métodos informáticos facilitan considerablemente el calibrado de una edad y a lo largo de los últimos años se han puesto a punto varios programas informáticos para poder realizar con facilidad los calibrados de las fechas de Carbono-14.

Palabras-clave: Datación Carbono-14. Edad dendrocronológica.

Summary: The radiocarbon dates, are not always exactly coincident with the true or calendaric dates. Various factors other than radioactive decay, can affect the concentration of ^{14}C in plants or animals. One of the main factors that affects that disagreement are the fluctuations in the neutronic

* Departamento de Química Inorgánica (Radioquímica), Laboratorio de Datación por Carbono-14 e Instituto Andaluz de Geología Mediterránea (IAGM) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. 18071 Granada. España.

flow in the atmosphere, probably by changes through the time in the magnetic field of the earth. Dendrochronology provides the essential link between conventional radiocarbon ages and calendar dates. In order to perform a correlation between the radiocarbon ages and the calendaric ones, a lot of tree rings of dendrochronological known age have been dated and calibration curves plotted from these data.

A calibration curve is a plot of the radiocarbon dates of successively older tree-ring samples compared with their true ages in real calendar years obtained from dendrochronological dating. One of the aspects of the calibration, which tend to cause confusion in the conversion of radiocarbon ages to calendrical ages is because two samples with different calendar ages can produce identical radiocarbon ages. This is due to the shape of the calibration curve.

Several calibration curves have been proposed in the past years in order to convert the radiocarbon dates to calendrical dates. The most recent published calibration curves allow the calibration of radiocarbon ages up to nearly 10,000 years BC.

Computerized calibration facilitates age calibration and in the last years some informatic programs have been presented to make easy the calibrations.

Key words: Radiocarbon dating. Dendrochronological age.

La datación por Carbono-14 se basa en algunos principios o suposiciones que resumiremos a continuación, si bien el principio más importante, es la propiedad de los isótopos radiactivos de poseer una velocidad de desintegración constante. En el caso del Carbono-14 esta velocidad de desintegración tiene un orden de magnitud coherente con los procesos del desarrollo cultural humano (Gulliksen 1980), ya que una muestra de dicho radionúclido necesita 5730 años para que se le desintegren la mitad de sus átomos.

Por una parte el Carbono-14 se está produciendo constantemente en la atmósfera por los neutrones secundarios de la radiación cósmica, el $^{14}\text{CO}_2$ que se forma se mezcla con el CO_2 atmosférico inactivo pasando ambos a los océanos y a las plantas, a los primeros mediante procesos de intercambio y a las segundas por el proceso de la fotosíntesis.

Debido a la continuidad de los procesos de producción y de desintegración, durante un intervalo de tiempo suficientemente amplio en relación con el período de desintegración del Carbono-14, se ha alcanzado un estado de equilibrio y como consecuencia de ello el contenido en Carbono-14 en la atmósfera es constante y conocido.

Por otra parte, durante la vida de un ser vivo, vegetal o animal, existe un equilibrio entre el contenido en Carbono-14 del organismo y el que existe en la atmósfera. Este intercambio isotópico cesa después de su muerte y partir de entonces el contenido en Carbono-14 decrece solamente por su desintegración radiactiva.

Como la velocidad de la desintegración radiactiva es constante y conocida, midiendo la actividad específica del Carbono-14 en un material muerto de origen orgánico, puede determinarse el tiempo transcurrido desde que el orga-

nismo dejó de recibir dicho radionúclido del medio.

Basado en estos principios y acuerdos, y a través de muchos miles de dataciones, se pudo establecer una cronología del Carbono-14 para las culturas prehistóricas desde el final del Paleolítico hasta la Epoca Romana.

Sin embargo en la técnica de la datación por Carbono-14, nos encontramos con el hecho comprobado de que aparte de la simple desintegración de dicho radionúclido, hay otros factores diferentes que afectan a la edad encontrada para la muestra.

Como hemos dicho, la determinación de la edad Carbono-14 de una muestra está basada en la desintegración radiactiva de dicho radioisótopo, y se calcula a partir de una ecuación que tiene en cuenta la actividad debida al Carbono-14 que contiene dicha muestra y la de un patrón llamado contemporáneo, cuya actividad se considera de referencia. Según esto vemos que la edad encontrada no tiene en cuenta las fluctuaciones que hayan podido existir en el pasado, en el contenido en Carbono-14 de la atmósfera. Esto supone que las edades Carbono-14 no tienen por qué coincidir exactamente con las reales o calendáricas.

Comparando las edades de Carbono-14 y las edades reales del calendario, se ponen frecuentemente de manifiesto la existencia de ciertos desacuerdos entre unas y otras. De entre las posibles causas de estos desacuerdos, la más importante es sin duda la originada por las posibles fluctuaciones en el contenido en Carbono-14 de la atmósfera. La validez de este método de datación está basada en la hipótesis de que el contenido en Carbono-14 de la atmósfera ha permanecido constante con el tiempo, o al menos durante los últimos 30000 años, ya que las posibles variaciones producidas con anterioridad a dicho tiempo serían prácticamente imperceptibles en nuestros días. Esta hipótesis fue defendida por W. F. Libby y Arnold (1949) en un principio, sin embargo De Vries (1958) demostró fuera de toda duda la existencia en los últimos siglos, de oscilaciones en dicho contenido.

Evidentemente, cualquier cambio en la atmósfera se va a reflejar e incidir en la biosfera, puesto que el Carbono-14 lógicamente se incorpora a ella por el proceso de la fotosíntesis y consecuentemente también se producirá un cambio en el contenido en Carbono-14 de los mares mediante los procesos de intercambio.

Vemos que varios factores distintos de la simple desintegración radiactiva pueden afectar a la concentración del ^{14}C en las plantas o en los animales. Sin embargo el principal factor que puede afectar esta discrepancia son las fluctuaciones del flujo neutrónico atmosférico, debidas probablemente a variaciones en el campo magnético terrestre a lo largo del tiempo.

Para evaluar la posible amplitud de las variaciones del Carbono-14 en la

atmósfera, es necesario realizar comparaciones entre las fechas convencionales de Carbono-14 y las obtenidas con otra cronología absoluta, precisa e independiente. Curiosamente, la naturaleza ha tenido la amabilidad de suministrarnos esa otra cronología, la cual ha sido laboriosamente elaborada por los científicos a partir de la observación de los anillos de crecimiento de los árboles.

Se trató inicialmente de establecer cuales habían sido las variaciones en el contenido en Carbono-14 de la atmósfera durante los últimos miles de años, realizando determinaciones sobre muestras de edad perfectamente conocida por su encuadre histórico. Sin embargo la mejor información la han proporcionado los anillos de ciertos árboles (sequoia, roble, pino, etc.), lo que constituye el método dendrocronológico.

La ciencia de la dendrocronología se basa en la influencia que tienen en el crecimiento de los árboles, factores como la temperatura y las lluvias. Para los árboles en los que su crecimiento está limitado por tales factores climáticos, hay una estrecha correlación entre las anchuras de los anillos anuales y los parámetros climáticos. Consecuentemente hay unas anchuras de anillos similares en árboles con una análoga historia climática, y una sensibilidad a los factores climáticos comparable.

Aunque la posibilidad de utilizar esta propiedad con fines de datación se conocía desde antes, fue al comienzo de este siglo cuando el astrónomo A.E. Duglass desarrolló en Arizona las bases para realizar cronologías por este procedimiento.

La dendrocronología facilita el eslabón fundamental para relacionar las edades Carbono-14 y las edades reales o calendáricas. Con el fin de poder establecer una correlación entre las fechas obtenidas con el Carbono-14 y las reales, se han realizado un elevado número de dataciones de anillos de árboles de edades conocidas determinadas por dendrocronología y se han trazado curvas de calibrado a partir de los resultados obtenidos en dichas dataciones.

Trabajando simultáneamente sobre muestras de edad conocida y sobre muestras dendrocronológicas, se han encontrado variaciones en el contenido en Carbono-14 que oscilan generalmente entre el uno o el dos por ciento, habiéndose intentado establecer una relación analítica entre el contenido biosférico en Carbono-14 y las posibles variaciones geofísicas implicadas en dicho contenido.

En definitiva Libby y sus colaboradores (1949), aunque admitieron la posibilidad de cambios en el contenido en Carbono-14 de la atmósfera, mantenían que al ser estos de corta duración no originarían serias discrepancias entre las edades Carbono-14 y las verdaderas. Sin embargo, los estudios realizados sobre los anillos de los árboles, demostraron sin lugar a dudas la existencia de variaciones apreciables en los niveles de Carbono-14 en la atmósfera en el

pasado.

Resumiendo, podemos decir que está fuera de toda duda la existencia de fluctuaciones en el contenido en Carbono-14 de la atmósfera, pero que las causas e incluso las magnitudes de estas oscilaciones no se han podido determinar hasta ahora con toda certeza, aunque parece existir una relación con los cambios climáticos y magnéticos y con la actividad solar.

Otras de las causas, mas recientes, que han influido en las oscilaciones del contenido atmosférico en Carbono-14, son el efecto Suess y las pruebas nucleares en la atmósfera. El efecto Suess es debido a las enormes cantidades de carbono prácticamente inactivo, que han sido arrojadas al aire por la combustión del carbón mineral y el petróleo desde el comienzo de la era industrial. Por su parte las explosiones nucleares en la atmósfera constituyen otro factor importante, aunque de sentido contrario al anterior, ya que los neutrones liberados en dichas explosiones producen Carbono-14 adicional, y este radionúclido es proyectado a la estratosfera desde donde se difunde por toda la atmósfera hasta el nivel del mar. Este último efecto solo tendrá influencia en las dataciones de muestras posteriores a 1945.

Para realizar el calibrado, lo más conveniente es la utilización de los anillos de los árboles que se pueden datar por métodos dendrocronológicos, el calibrado se realiza datando posteriormente dichas muestras por Carbono-14 y viendo la diferencia existente entre ambas edades obtenidas.

Como ya se ha dicho, De Vries (1958), fue el primero en dar a conocer la existencia de variaciones en el contenido atmosférico en Carbono-14, lo que observó indirectamente en anillos de árboles de bosques de Europa y América del Norte. Se conocen como "Efecto De Vries", las fluctuaciones en cortos intervalos de tiempo, del contenido en Carbono-14. Desde entonces millares de dataciones han venido a confirmar el hecho de que el contenido en Carbono-14 de la naturaleza no ha sido constante. Estas medidas se llevaron a cabo utilizando maderas de sequoia, roble y pino datadas dendrocronológicamente. Las medidas se realizaron fundamentalmente por los laboratorios de las Universidades de California en La Jolla, San Diego, en la Universidad de Arizona en Tucson y en la Universidad de Pensilvania en Filadelfia. Los resultados de estas dataciones fueron publicados por Suess (1970), Damon (1972) y Ralph (1973) y sus colaboradores.

Estas curvas coinciden prácticamente en las oscilaciones a largo plazo, pero presentan ciertas discrepancias en los pequeños intervalos de tiempo. Damon propuso una curva completamente suavizada que tenía en cuenta solo las variaciones a largo plazo, en contraposición a Suess que abogaba por tener en cuenta además las fluctuaciones a corto plazo debidas al efecto De Vries.

La curva de Ralph, también conocida como curva de MASCA (Museum

Applied Science Center for Archaeology) de la Universidad de Pennsylvania, ha sido de las que mas impacto tuvieron cuando fueron publicadas, está basada en los valores medios de grupos de 9 muestras y presenta un punto de vista intermedio entre la curva de Suess y la de Damon. Posteriormente Clark (1975), examinó los datos existentes y obtuvo por métodos de regresión con ordenador una nueva curva de calibrado.

Las fechas que son calibradas según diferentes curvas, mostrarán diferencias significativas. Para las curvas de MASCA y de Clark, las desviaciones de los resultados son generalmente inferiores a 100 años, mostrando las mayores diferencias para edades rondando los 2200 años BP. Como ejemplo citaremos que una edad convencional de Carbono-14 de 2130 BP, calibrándola según Clark corresponde a una edad calendárica de 2140 BP, mientras que la curva de MASCA asignará una edad calibrada con un rango de 2160-2310 BP a la misma edad.

Posteriormente han sido publicadas algunas curvas de calibrado, siendo las más interesantes, a nuestro juicio, las ya mencionadas de MASCA (Ralph 1973), las de Stuiver (1982) y también las curvas y tablas de J. Klein, J.C. Lerman, P.E. Damon y E.K. Ralph (1982) que tuvieron un gran impacto desde 1982 hasta 1986.

Sin embargo las últimas curvas publicadas y aceptadas internacionalmente, son fundamentalmente las realizadas por G. W. Pearson y M. Stuiver (1986) de las Universidades de Belfast (Irlanda del Norte) y Seattle (Estados Unidos) respectivamente. En este mismo año 1993, han sido publicadas nuevas ampliaciones en los intervalos de aplicación de las mismas.

En el Congreso internacional de Carbono-14, celebrado en Trondheim (Noruega) en 1986, el Comité de Calibración, acordó que ninguna curva de calibrado debería ser considerada como definitiva, hasta que haya sido discutida desde el punto de vista estadístico por grupos independientes y también se justifique tanto su exactitud calendárica como radiométrica, de forma que ambos ejes coordinados puedan ser considerados exactos. Las curvas de Pearson y Stuiver (1986) satisfacen estos criterios, abarcando el período desde 2500 BC al presente.

Para muestras entre 2500 BC a 5200 BC pueden obtenerse conversiones provisionales usando otras curvas de Pearson *et al.* (1986). Estas últimas curvas de calibrado, si bien no son definitivas, no es de esperar cambios significativos en las mismas, ya que la metodología utilizada en su establecimiento y sus correcciones son en todo análogas a las aplicadas en la elaboración las curvas consideradas como definitivas. Con curvas de este tipo, se podía llegar en 1986 hasta 7158 años BP.

En el volumen especial sobre calibración, 28(2B) de la revista *Radiocar-*

bon, publicado a continuación del XII Congreso Internacional sobre Carbono-14 celebrado en Trondheim (Noruega) en Junio de 1985, se publican unas 11 curvas de calibrado, bastante coincidentes entre sí y que abarcan diferentes intervalos de aplicación.

En el citado volumen de Radiocarbon, se proponían tres caminos diferentes para realizar el calibrado de una fecha convencional de Carbono-14: Usando las curvas de calibrado, mediante las tablas que en general se publican en relación con cada curva, y por último y como método más recomendado, utilizar un programa informático de calibrado.

En los siguientes Congresos internacionales sobre Carbono-14, el XIII celebrado en Dubrovnic (Yugoslavia) en Junio de 1988, y en el XIV que tuvo lugar en Tucson (Arizona) en Mayo de 1991, se reafirmaron los acuerdos para la calibración de las fechas de Carbono-14 y se propusieron algunos avances sobre dicho tema que permitieron la ampliación de las curvas ya existentes y la presentación de nuevos programas informáticos para calibrado.

Las curvas de calibrado presentan algunas alteraciones o rizos que hacen que a una misma fecha de Carbono-14 correspondan varias fechas dendrocronológicas. Dichas alteraciones han sido objeto de numerosas dudas, pero actualmente está totalmente demostrada la existencia de fluctuaciones de corta duración (Efecto De Vries) en el contenido de Carbono-14 en la atmósfera.

Uno de los aspectos de la calibración, que pudiera crear confusión en la conversión de una edad Carbono-14 en otra calendárica es debido al hecho de que dos muestras con diferente edad real, puedan conducir a una misma edad por el método del Carbono-14. Ello es debido a la propia forma de la curva de calibrado.

Por ejemplo: Si tratamos de calibrar una fecha de Carbono-14 de 2200 ± 20 años BP, nos encontraremos con tres intersecciones con la curva de calibrado, a 2302, 2255 y 2185 años Cal. BP, (353, 306 y 236 Cal. BC), los intervalos de edades calibradas corresponderían respectivamente a los siguientes: 2312-2286, 2274-2229 y 2209-2151 años Cal. BP, (363-337, 325-280 y 260-202 años Cal. BC).

Si la edad a calibrar fuera de 2200 ± 120 años BP, las intersecciones con la curva de calibrado serían las tres mismas indicadas en el párrafo anterior, aunque en este caso obtendríamos un solo intervalo de edades calibradas, que correspondería a 2350-2050 años Cal. BP (400-50 años Cal. BC).

Cada uno de estos intervalos de edad calibrada tendrán diferentes probabilidades estadísticas, pero todos ellos serán posibles. Hay que considerar, por otra parte, que la edad Carbono-14 se expresa con una incertidumbre estadística correspondiente a \pm una desviación standard ($\pm\sigma$, 68,3% de probabilidad), mientras que la edad calibrada se expresa por acuerdo internacional con una

incertidumbre de \pm dos desviaciones standard ($\pm 2\sigma$, 95,4% de probabilidad), lo que hace que aparentemente la edad calibrada pueda parecer menos precisa que la edad Carbono-14, siendo ello solamente una simple apariencia debida al citado criterio establecido.

Como vemos, la edad Carbono-14 se expresa siempre en años BP, mientras que la edad calibrada se hace como Cal BC, Cal AD, o menos frecuentemente como Cal. BP.

Las muestras atmosféricas y las marinas, por haberse formado en medios diferentes y como consecuencia de procesos también distintos, deberán ser calibradas con diferentes curvas adecuadas al medio considerado.

Las curvas de calibrado publicadas más recientemente y que recogen los últimos avances en la materia, permiten el calibrado de edades próximas hasta unos 10.000 años BC.

Los métodos informáticos facilitan considerablemente el calibrado de una edad y a lo largo de los últimos años se han puesto a punto varios programas informáticos para poder realizar con facilidad los calibrados de las fechas de Carbono-14.

Citaremos en primer lugar el programa CALIB, realizado en lenguaje FORTRAN y puesto a punto en la Universidad de Washington (Seattle) por M. Stuiver y P.J. Reimer (1986), está basado en las tablas de Pearson *et al.* (1986), este es un programa ampliamente utilizado en todo el mundo, si bien su manejo es algo complejo debido al elevado número de datos y parámetros que pide, la mayor parte de ellos innecesarios para los calibrados normales de las muestras más usuales que son la mayoría.

Para evitar estos inconvenientes, la Universidad de Granada (González-Gómez, 1991, 1992), ha puesto a punto y distribuido el programa de calibrado CALI, basado en el anterior, pero considerablemente simplificado evitando la petición de datos innecesarios, los cuales son respondidos internamente por defecto por el propio programa para los valores normales de casi todas las muestras que normalmente deben calibrarse. Este programa es de un manejo muy sencillo, muy rápido y los resultados del calibrado se exponen con claridad tanto en la pantalla como mediante la impresora, pudiendo obtenerse opcionalmente una gráfica, en pantalla o impresora, relacionada con el calibrado realizado, este programa se ha realizado en dos versiones diferentes, en inglés y en español.

El Centre for Isotope Research de la Universidad de Gröningen de Holanda (J. van der Plicht, 1993), ha realizado sucesivamente los programas de calibrado CAL4, CAL10 y CAL15, basados como los demás en el método de Pearson *et al.* (1986), el manejo del último de ellos, que es el más reciente, es algo complicado, y las instrucciones de manejo, en un fichero, son difíciles de interpretar

con cierto detalle, pero sin embargo las gráficas que se obtienen con él son excelentes, ya que permiten comparar las curvas de distribución de probabilidades de la edad Carbono-14 con las de la edad calibrada. Ello da una idea muy clara de las diferentes probabilidades estadísticas de ambas edades para los diferentes intervalos de edad calibrada..

El programa CalibETH, ha sido realizado por T.R. Niklaus (1992), del Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) de Zurich, es un buen programa de calibrado, si bien no puede ser instalado fácilmente en cualquier ordenador, ya que exige unas condiciones elevadas de memoria disponible, no permite la existencia de otros programas residentes, y además necesita para imprimir un programa auxiliar SHOW cuya instalación no se consigue siempre. Funciona en ambiente GEM aunque también hay una versión posterior para WINDOWS. Su manejo requiere una cierta familiarización con el manual de instrucciones que es algo extenso.

Terminaremos recordando el consejo de G.W. Pearson (1987), de que una correcta calibración, no es fácil de realizar correctamente por personas sin una adecuada base de conocimientos sobre matemáticas, (principalmente sobre estadística) y sobre la técnica misma de la datación por Carbono-14. Realizando el calibrado incorrectamente, o interpretando erróneamente el resultado puede perjudicarse seriamente una investigación arqueológica, por lo que sería deseable acudir a los especialistas en la materia para una correcta calibración e interpretación de los resultados.

BIBLIOGRAFIA

- BOWMAN, S. (1990), Radiocarbon Dating, London, British Museum Publications. ISBN 0-7141-2047-2.
- CLARK, R.M., (1975), A calibration curve for radiocarbon dates, *Antiquity*, 49, pp. 251-266.
- DAMON, P.E. et al, (1972), Dendrochronologic calibration of the carbon-14 time scale, *Proc. 8th Int. Radiocarbon Dating Conference*, R. Soc. N.Z., Wellington.
- GONZÁLEZ-GÓMEZ, C. et al. (1982), University of Granada radiocarbon dates I. *Radiocarbon*, New Haven (Connecticut) USA. 24(2), pp. 217-221.
- GONZÁLEZ-GÓMEZ, C. et al. (1985), University of Granada radiocarbon dates II. *Radiocarbon*, New Haven (Connecticut) USA. 27(3), pp. 610-615.
- GONZÁLEZ-GÓMEZ, C. et al. (1986), University of Granada radiocarbon dates III. *Radiocarbon*, New Haven (Connecticut) USA. 28(3), pp. 1200-1205.
- GONZÁLEZ-GÓMEZ, C. et al. (1987), University of Granada radiocarbon dates IV. *Radiocarbon*, New Haven (Connecticut) USA. 29(3), pp. 381-388.
- GONZÁLEZ-GÓMEZ, C. et al. (1991), University of Granada radiocarbon dates V. *Radiocarbon*, Tucson (Arizona) USA. 33(3), pp. 367-373.
- GONZÁLEZ-GÓMEZ, C. et al. (1992), University of Granada radiocarbon dates VI..

- Radiocarbon*, Tucson (Arizona) USA. 34(1), pp. 133-139.
- GULLIKSEEN, S., (1980), Calibration of Radiocarbon Dates: A Review, *Norw. Arch. Rev.*, 13(2), pp. 101-109.
- HARKNESS, D.D., High Precision C14 calibration... *Archaeology, Dendrochronology and the Radiocarbon Calibration curve*. Edinburg. UK ISSN 0144-3313.
- KLEIN, J. et al. (1982), Calibration of Radiocarbon Dates: Tables based on the consensus data of the Workshop on Calibrating the Radiocarbon Time Scale. *Radiocarbon*, New Haven (Connecticut) USA. 24(2), pp. 103-150.
- LIBBY, W.F., ARNOLD, J.R., (1949), Age determinations by radiocarbon content: Checks with samples of known age. *Science*, 110, pp. 678-680.
- NIKLAUS, T.R., (1992), CalibETH: An Interactive Computer Program for the Calibration of Radiocarbon Dates, *Radiocarbon*, Tucson (Arizona) USA. 34(3), pp. 483-492.
- PEARSON, G.W. et al. (1986), High-precision ¹⁴C measurements of Irish oaks to show the natural ¹⁴C variations from AD 1840 to 5210 BC. *Radiocarbon*. New Haven (Connecticut) USA, 28(2B), pp. 911-934.
- PEARSON, G.W. (1987), How to cope with calibration. *Antiquity*, 61, pp. 98-103.
- STUIVER, M. (1982), A high precision calibration of the radiocarbon time-scale, *Radiocarbon*, New Haven (Connecticut) USA. 24(1), pp. 1-26.
- STUIVER, M, REIMER, P.J. (1986), A computer program for radiocarbon age calibration. *Radiocarbon*, New Haven (Connecticut) USA 28(2B), pp. 1022-1030.
- SUESS, H.E., (1970), Bristlecone-pine calibration of the radiocarbon time-scale 5200 BC to the present, *Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*, I.U. Olsson (Ed.) Proc. XII Nobel Symp., Willey, New York. pp. 303-312.
- VAN DER PLICHT, J. et al., (1993), The Groningen Radiocarbon Calibration Program, *Radiocarbon*, Tucson (Arizona) USA. 35(1), pp. 231-237.