



ESTRAT CRÍTIC

Revista d'Arqueologia

Número 4, 2010



Col·lectiu Estrat Jove

UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona



DOSSIERS. Aquesta secció té com a objectiu l'aprofundiment en certs aspectes més tècnics de la nostra tasca diària. D'aquesta manera, persones que vinguin de la pròpia disciplina o d'altres camps científics relacionats amb l'Arqueologia podran donar a conèixer novetats, consells...; en definitiva, aspectes molt concrets de les seves especialitats, que complementin la nostra formació estrictament arqueològica. Tot i que està inicialment pensat per a tots els nivells acadèmics/professionals, creiem que podrà ser especialment útil per aquells que encara no tinguin una experiència prou àmplia.

Breve reseña sobre métodos para datación arqueológica

Juan Cervera

Llicenciat en Química a la Universitat de Jaén
jmcerveraa@terra.es

Resumen

La arqueología es una ciencia que permite, por medio de los vestigios naturales de las épocas pasadas, comprobar datos históricos y sustentar los datos prehistóricos, obteniendo así el conocimiento de las artes, técnicas y modos de vida de los distintos pueblos y épocas. El rápido desarrollo de las ciencias experimentales y sus aplicaciones prácticas ha prestado a la incipiente ciencia arqueológica una base práctica y metodológica, tan importante como aquella que, en el plano teórico, le habían prestado la historiografía y las ciencias sociales.

Palabras clave: Carbono 14, Arqueología, isótopo, radionúclido, termoluminiscencia.

Abstract

Archaeology is a science that allows, by means of the natural vestiges of the last times, to verify the historical data and to sustain the prehistoric data, collecting therefore the knowledge of the arts, techniques and ways of life of the different towns and different times. The fast development of experimental sciences and its practical applications has lent to incipient archaeological science a practical and methodological base as historiography and social sciences had done before in a theoretical plane.

Key words. Radiocarbon analyses, Archaeology, isotope, radionuclide, thermoluminescence.

I. Introducción

Los materiales recogidos en una excavación (útiles líticos, cerámicas, fíbulas...) reciben su valor cronológico, entre otros factores, de su situación en unos determinados estratos arqueológicos, los cuales se van documentando y destruyendo a medida que avanza la excavación. Todo el trabajo sería inútil desde el punto de vista científico si después de la excavación sólo se hubiera conseguido una mera recopilación de objetos.

Para establecer cronologías, la arqueología recibe gran ayuda de otras ciencias que con sus análisis especializados dan a conocer, con precisión suficiente, una serie de fechas con que poder establecer secuencias temporales para las distintas sociedades pretéritas de la humanidad.

Aunque el uso de técnicas interdisciplinarias pueda determinar un marco cronométrico ajustado, la cronología debe estar determinada fundamentalmente por la secuencia de los objetos procedentes de los distintos niveles estratigráficos excavados.

No obstante, la estratigrafía no es el único medio para determinar la cronología relativa. La datación de los objetos según la fecha de su estrato arqueológico, según su asociación a restos fósiles de animales o de polen (palinología), o por su relación con otros objetos datables, como las cerámicas, constituyen otros sistemas para establecer la cronología relativa. Desde luego, en ciertas ocasiones es posible obtener una cronología absoluta gracias al uso del Carbono-14, la dendrocronología (sistema de datación basado en las capas de los troncos de los árboles), la termoluminiscencia o el arqueomagnetismo.

Todos los métodos para la datación arqueológica están basados en la existencia de algún proceso que ocurre en la naturaleza a un ritmo más o menos continuo; si podemos establecer el tiempo transcurrido desde que comenzó el proceso y, si ese hecho correspondió con algún "acontecimiento"

arqueológico en el pasado, entonces, en principio, podremos fechar ese proceso.

Por ejemplo, el análisis de los isótopos 12 y 13 del carbono permiten estudiar la alimentación o dieta que tuvo un individuo; el isótopo 13 del carbono queda fijado en el colágeno de los huesos humanos; el isótopo 14 del carbono permanece en los restos de carácter orgánico; el análisis de las cantidades de los isótopos 16 ó 18 del oxígeno, sobre plancton, sirve para estimar la temperatura del agua de una determinada época; la racemización de aminoácidos (que se basa en el comportamiento que se produce en las moléculas de aminoácidos cuando un ser muere) se aplica a restos óseos y puede medir hasta el Paleolítico medio. etc., etc.

En los siguientes apartados trataremos algunas de las técnicas más conocidas que se utilizan; haremos referencia sobre la base científica y su funcionamiento de una manera simplificada, fuera del terreno especializado que requeriría conocimientos técnicos específicos, escapándose del ámbito meramente informativo e informal del presente artículo.

II. Datación por radiocarbono

Se definen como isótopos aquellos "elementos o átomos que tienen el mismo número atómico, por tanto propiedades químicas similares, pero diferente número másico", tendríamos de esta forma, por ejemplo, el Oxígeno-16 y Oxígeno-18, Nitrógeno-14 y Nitrógeno-15, Carbono-12, Carbono-13 y Carbono-14, Uranio-235 y Uranio-238, etc.

Existen en la naturaleza tres isótopos del carbono: el C-12 (expresado correctamente como ^{12}C), el C-13 (^{13}C) y el C-14 (^{14}C). Su diferencia estriba en que, dado un mismo elemento químico, el carbono, sus núcleos contienen el mismo número de protones y electrones (seis), pero un número diferente de neutrones (seis, siete y ocho,

respectivamente), lo que les hace tener una masa atómica diferente (doce, trece y catorce, respectivamente).

Casi el 99% del CO₂ atmosférico contiene el carbono ligero ¹²C. Una pequeña parte, el 1,1% del CO₂, es algo más pesado, ya que contiene ¹³C. Y finalmente existe también en la atmósfera, en muy pequeña proporción, CO₂ que contiene ¹⁴C, que es radiactivo e inestable.

El método de datación radiocarbónica ¹⁴C fue desarrollado por Willard F. Libby (1908-1980), en los años 40, junto a su equipo de investigación de la Universidad de Chicago, lo que le permitió recibir el Premio Nobel de Química en 1960. Desde entonces, y hasta nuestros días, este método se ha aplicado en multitud de disciplinas científicas, incluyendo la Arqueología.

Este método para la datación en arqueología se basa en el hecho que, por virtud de las radiaciones cósmicas, la concentración atmosférica estable de radiocarbono (¹⁴C) se transmite de modo uniforme a los seres vivos a través del dióxido de carbono.

Nuevos átomos de ¹⁴C se forman continuamente en las capas altas de la atmósfera como resultado del bombardeo producido por los rayos cósmicos, los cuales provocan que el nitrógeno atmosférico (¹⁴N) reaccione con neutrones (¹n) de una determinada energía, para producir ¹⁴C e Hidrógeno (¹H) (López, 2004).

Las plantas vivas asimilan el carbono del CO₂ atmosférico durante la fotosíntesis y lo expulsan durante la respiración. De esta forma, los tejidos de las plantas vivas y los de los animales vivos, humanos incluidos, que se alimentan de esas plantas continuamente, están intercambiando ¹⁴C con la atmósfera.

De este modo, existe un aporte continuo de ¹⁴C atmosférico a la biosfera y, consecuentemente, la concentración en cada ser vivo será similar a la atmosférica, lo que se denomina "*Principio de simultaneidad*".

Este hecho hace que la ratio, o proporción, entre las concentraciones ¹⁴C/¹²C, del carbono contenido en los tejidos orgánicos de los seres vivos sea semejante a la del CO₂ de la atmósfera. Sólo al cesar la vida, el flujo de ¹⁴C se interrumpirá y, a partir de ese momento, su concentración en el resto orgánico comenzará a disminuir por desintegración, transformándose en ¹⁴N que no es reemplazado.

La masa de ¹⁴C de cualquier fósil o material arqueológico orgánico, es decir, con presencia de carbono, disminuye a un ritmo exponencial que es conocido. Se sabe que a los 5730 ± 30 años de la muerte de un ser vivo la cantidad de ¹⁴C en sus restos fósiles se ha reducido a la mitad y que a los 57.300 años es de tan sólo el 0,01% del que tenía cuando estaba vivo.

Sabiendo la diferencia entre la proporción de ¹⁴C que debería contener un fósil si aún estuviese vivo, esto es, semejante a la de la atmósfera en el momento en el que murió, y la que realmente contiene, se puede conocer la fecha de su muerte.

La cantidad y el porcentaje de ¹⁴C se calculan midiendo las emisiones de partículas beta de la muestra. El método sólo es viable para fósiles no muy viejos, menores de unos 60.000 años, ya que para edades superiores las emisiones de partículas β son ya demasiado poco intensas y difíciles de medir, por lo que los errores pueden ser muy grandes.

En la práctica, la datación se complica porque la concentración atmosférica de ¹⁴C ha variado sustancialmente a lo largo del tiempo. Esto hace que se necesite saber no sólo la cantidad de ¹⁴C que queda en la muestra fósil, sino también la concentración atmosférica que existía en el momento de su muerte.

Se conocen, más o menos con exactitud, las variaciones de ¹⁴C habidas en los últimos 11.800 años gracias a la dendrocronología, es decir, al análisis de los anillos de la madera (cuyas edades conocemos por conteo) de

series solapadas de troncos de árboles vivos y fósiles. Más allá los datos son más pobres e imprecisos y no pueden basarse en el estudio de árboles fósiles. Sin embargo, el período se ha extendido más recientemente hasta hace unos 50.000 años por medio del análisis del ^{14}C contenido en los sedimentos laminares del fondo de ciertas cuencas lacustres y oceánicas.

Otras de las causas de las variaciones habidas en la concentración de ^{14}C atmosférico son (Bard *et al.*, 1990):

✦ **Cambios en la actividad solar:** La llegada de mayor o menor radiación cósmica galáctica depende inversamente de la intensidad del viento solar que la intercepta. Se puede deducir que las anomalías detectadas en el ^{14}C dependen de las anomalías de la emisividad solar. Las épocas en las que hubo una mayor producción de ^{14}C se corresponden con épocas de menor actividad solar y, por ende, más radiación cósmica incidente.

✦ **Variaciones en la ventilación oceánica:** Pueden producirse variaciones importantes en la concentración atmosférica de ^{14}C cuando cambian drásticamente las condiciones de ventilación de los mares. Ocurre que hay un intercambio continuo de CO_2 entre la atmósfera y los océanos. Ahora bien, una vez que el CO_2 es absorbido por el agua y penetra en el océano puede permanecer siglos atrapado en él y, por lo tanto, su carbono se va empobreciendo en ^{14}C . De esta forma el CO_2 devuelto a la atmósfera en los procesos de afloramiento de aguas profundas contiene un carbono empobrecido en ^{14}C , lo cual hace que se reduzca también la concentración de ^{14}C del CO_2 atmosférico.

Esto significa que una determinación se da, en realidad, en términos de “años radiocarbono” y que estos no equivalen necesariamente a años del calendario verdadero.

Por consiguiente, el ^{14}C de las materias orgánicas descubiertas en un yacimiento

arqueológico puede proporcionar cronologías absolutas hasta los 35.000 años de antigüedad. No obstante, estudios realizados con el carbono radiactivo parece que extienden su datación hasta 70.000 años, aunque a partir del 55.000 sólo se obtienen fechas relativas.

Aunque todavía no se puedan medir las alteraciones probables de los isótopos y haya que admitir un error de ± 50 años, ello no es obstáculo para poder afirmar la total validez del Carbono-14 como método cronológico. Los verdaderos problemas estriban en fijar fechas para los 3000 años más próximos y para épocas anteriores a los 55.000 años. Entre estas dos fechas límite hay que admitir que las dataciones del carbono-14 y la importancia y los buenos resultados de este método, son indiscutibles.

Pero entonces, ¿cómo se calcula la edad del material? Conociendo el periodo de semidesintegración del isótopo radiactivo ^{14}C es posible conocer la fecha de la muerte del ser vivo datado. La edad carbono-14 no es más que la medida del contenido de ^{14}C residual del organismo muerto, referido a un patrón de edad conocida (curvas de calibración).

Conociendo la concentración inicial u original de ^{14}C del organismo (que vamos a llamar A_0), midiendo la concentración actual del isótopo (que llamaremos A), y sabiendo que la relación de pérdida por desintegración es una función exponencial dependiente del tiempo, podemos llegar a determinar el momento en que ese organismo murió, siguiendo la siguiente ecuación matemática (Rodríguez, 1997):

$$\text{Edad} = - 8033 \ln (A / A_0)$$

El valor así obtenido se denomina “edad carbono-14 convencional”, y se expresa generalmente como ‘años antes del presente’ (*before present* o BP en inglés), tomando el año 1950 de nuestra era (AD en inglés) como el presente. Esta fecha, además, incluye un error experimental de la medida definido

como 'desviación estándar' (López, 2004; Rodríguez, 1997).

La edad carbono-14 convencional representa en realidad un intervalo de tiempo, no una fecha puntual.

Para precisar lo más exactamente posible la concentración de ^{14}C en la reserva a lo largo del tiempo fue necesario utilizar la denominada "*curva de calibración*", la cual se realizó midiendo la actividad de ^{14}C en series de anillos de árboles cuyas fechas eran conocidas por estudios dendrocronológicos. Esta curva relaciona directamente la *edad carbono-14 convencional* con la edad solar o de calendario, permitiéndonos extraer la relación entre una y otra. La transformación de las fechas radiocarbónicas (BP, BC, AD) en fechas solares recibe así el nombre de "*calibración*"; permitiendo obtener cronologías adecuadas y perfectamente comparables.

La curva de calibración no establece una relación bi-unívoca entre ambas escalas cronológicas, radiocarbónica y solar, sino que a cada fecha radiocarbónica puede corresponderle, de hecho, más de una fecha solar.

En conclusión, la recreación de cronologías mediante la transformación de fechas carbono-14 en sus respectivas edades calendario puede ser problemática, principalmente porque las primeras tienen una relación no lineal con las edades calendario que a menudo se obvia.

II.1 Procesos de tratamiento de la muestra

II.1.1 Tamaño de la muestra

De manera ideal, las muestras deben proporcionar al rededor de 2 mg de carbono después de ser procesadas. Las cantidades de muestra que se requieren, normalmente, son las siguientes:

Material	Cantidad Requerida
Hueso	150 - 3000 mg. Dependiendo de las condiciones
Carbón	30 - 100 mg.
Turba	1 - 3 gm. Dependiendo del Contenido en carbono
Sedimentos	1 - 3 gm. Dependiendo del contenido en carbono
Conchas	30 mg.
Textiles	30 mg.
Madera	50 - 300 mg.

II.1.2 Pretratamiento físico

Las muestras que tienen que llevarse al laboratorio para su análisis han de ser sometidas, en primer lugar, a una limpieza y un examen físico.

Durante el pretratamiento físico, las muestras son examinadas por microscopio. Los objetos extraños como raíces y hebras o hilos se retiran con pinzas. Las superficies sucias y contaminantes como pegamento o tinta son descartadas. Las partes exteriores son limpiadas de forma adecuada según el tipo de muestra. Otras muestras requieren ser tamizadas para seleccionar una fracción de tamaño adecuada de muestra.

Finalmente, la muestra es molturada y reducida a polvo con el objeto de aumentar la superficie específica.

II.1.3 Pretratamiento químico

El objetivo de un pre-tratamiento químico es el de eliminar cualquier tipo de contaminante en la muestra que pueda hacerse soluble por calentamiento en una serie de disolventes.

II.1.4.- Combustión

Cuando la materia orgánica arde en presencia de oxígeno, el carbono se convierte en CO_2 con agua y a menudo otros compuestos como subproductos de la reacción.

En el proceso de combustión, durante el procesamiento de la muestra, el CO₂ gas es producido a partir del residuo de las muestras tratadas químicamente. Las muestras se someten a combustión durante 2 horas a 900° C en tubos de cuarzo al vacío, sellados y con alambres de óxido cúprico y plata. El óxido cúprico proporciona el oxígeno para la combustión y la plata aísla el azufre y los halógenos en formas sólidas. Después de la combustión, el CO₂ es purificado criogénicamente pasándolo a través de vasos Dewar de etanol/hielo-seco para atrapar el agua. El CO₂ purificado es recolectado en vasos de cristal para transportarlos a los laboratorios de grafitización y de espectrometría de masas.

Una vez obtenido y purificado el CO₂ procedente de la muestra, para poder hacer las medidas, este puede usarse en forma gaseosa utilizando “*contadores de gas*”, o bien, puede convertirse en benceno (C₆H₆) para medirse usando “*contadores de centelleo líquido*”.

II.1.5 Grafitización

El paso final en el procesamiento de la muestra es la conversión de la muestra de CO₂ a carbono grafito elemental. La muestra de CO₂ se mezcla con una cantidad estequiométrica de hidrógeno gas dentro de un tubo de reacción de vidrio. El vaso de reacción contiene pequeñas cantidades de hierro en polvo que actúa como catalizador de la reacción. El vaso se introduce en un horno a 700° C y, tras unas 5 horas, el CO₂ se ha convertido en grafito. En este caso las medidas se hacen mediante la técnica de AMS (Espectrometría de Masas con Acelerador).

Entre los materiales que con mayor frecuencia son datados fruto de investigaciones arqueológicas, gracias a que cuentan con átomos de carbono en su estructura, los más usuales son los siguientes (López, 2004):

✦ **Carbón vegetal:** Tiene alto contenido en carbono y es fácil de tratar en laboratorio.

✦ **Huesos:** La medida se realiza sobre la parte proteica de los mismos, por lo que normalmente se necesita mayor cantidad de muestra para su procesamiento, siendo su mayor desventaja que esta parte proteica se degrada con el tiempo, llegando incluso a desaparecer haciendo inviable la datación.

✦ **Madera:** Es un material idóneo para ser datado por su buena conservación, pero posee un inconveniente importante, y es su posible reutilización en distintos periodos históricos. La datación indica el momento de la formación de los anillos del árbol, y en ningún caso el momento constructivo en el caso de maderas que han sido utilizadas a tal fin.

✦ **Otros materiales orgánicos:** Pueden ser tanto de origen animal (pelo, lana, piel) como vegetal (fibras, semillas), generalmente están bien asociados al hecho arqueológico puesto que son materiales cuyo contenido en ¹⁴C corresponde a un solo año (materiales de vida corta).

✦ **Turba y sedimentos orgánicos:** Se trata de materiales ambos muy utilizados en investigaciones paleopalinoológicas proporcionando dataciones muy fiables, especialmente la turba.

✦ **Conchas:** Es un material de difícil interpretación ya que la variación de la concentración del isótopo en el océano se rige por pautas distintas al medio terrestre. Lo mismo puede afirmarse de la datación de plantas acuáticas, especialmente restos de algas.

II.2 Algunos ejemplos notables de datación por radiocarbono

✦ El Sudario de Turín. La calibración del radiocarbono es de 691 ± 31 años, según medidas derivadas de experiencias realizadas a hilos de lino, mediante técnicas de AMS. Teniendo en cuenta una pequeña incertidumbre en la curva de calibración, para un nivel de confianza del 68%, el lapso

de tiempo en el calendario que se obtiene es de 1275–1290 D.C.; para un nivel de confianza del 95% se obtienen dos posibles periodos de tiempo: 1260–1310 D.C. y 1355–1385 D.C.

✦ “Ötzi” el Hombre de las nieves de los Alpes. El estudio mediante AMS y otras técnicas, nos indica que la edad de radiocarbono obtenida en estas medidas es de 4550 ± 19 años BP (before present = 1950 D.C.).

Además del cuerpo del Hombre de las nieves en sí mismo, se recuperaron muchas partes de equipo material del lugar donde se encontraba en 1991, que permiten determinar la fecha del Hombre de los hielos con mayor precisión datando muestras de la parte central del arco y del mango del hacha. Ambas piezas están hechas de tejo, con una estructura estrecha de anillos del árbol de hasta 60 anillos dentro de la sección transversal.

III. Datación por Termoluminiscencia

Con el término general de termoluminiscencia (TL) se designa a un proceso por el cual un cuerpo emite una radiación luminosa sin que se produzca emisión de calor. Esta radiación se observa inmediatamente en la zona Visible del espectro electromagnético, pero puede permanecer también en la región del Ultravioleta o del Infrarrojo.

Esta propiedad de algunos materiales con malla cristalina como el basalto, cerámica, etc., que hace que desprendan luz cuando se les somete a una fuente calorífica, se fundamenta en la presencia de elementos radiactivos en esos materiales, que con el tiempo se desintegran, proceso en el cual se desplaza a los electrones que quedan "encerrados" en las grietas de la malla cristalina. Así, cuando el material se caliente de forma brusca a más de 500°C , se produce la liberación de los electrones produciéndose un haz lumínico, que puede detectarse y medirse con la técnica y la maquinaria adecuadas.

Pueden medirse así las rocas y la actuación humana sobre el material, en concreto, puede evaluarse la cocción de la cerámica (Arribas *et al.*, 1992) en un horno; arcilla rubafectada con carbones (Rasines, 2005). El sílex también puede ser medido mediante este método si en su elaboración ha sido calentado o si ha estado en contacto con las hogueras del grupo humano que lo ha utilizado. También son importantes en la medición el grado de humedad de la zona y la exposición al Sol.

Frente a la técnica de datación por radio carbono o Carbono-14, la termoluminiscencia llega más lejos en su datación, hasta 500.000 años, aunque su error es mayor.

Este método comprende las siguientes etapas: excitación del cuerpo luminoso por una radiación conveniente, almacenamiento de energía y, finalmente, emisión luminosa. Suele ser el modo de excitación del cuerpo el que da nombre al proceso. Concretamente, se denomina termoluminiscencia cuando la emisión luminosa se produce por una aportación calorífica exterior al sistema.

En la datación de cerámicas por termoluminiscencia el hecho fundamental es que su calentamiento es suficiente para suprimir toda la termoluminiscencia anterior, es decir, que la termoluminiscencia que se mide en las cerámicas será aquella acumulada después de su fabricación, durante la cual ha sido cocida a una temperatura que oscila entre los 700 y 1000°C .

Las muestras a medir deben ser molidas en condiciones muy bien determinadas. Generalmente se usan fracciones de espesor inferiores a 75 micras.

Las ventajas del método de datación por termoluminiscencia son notables, porque no necesita calibración, puede fechar muestras de hasta 500.000 años de antigüedad y además lo que se fecha, es siempre una actividad humana, el calentamiento del mineral (la cocción de la cerámica, por ejemplo), y no algo que quizás es anterior o

posterior, como sí puede ocurrir con el ^{14}C ; aún así, no se puede destinar al análisis cualquier fragmento. Como contrapartida, en condiciones favorables, se puede conseguir un intervalo de fechas con un 90% de aproximación respecto a la edad absoluta.

El proceso de preparación de la muestra y la interpretación de los datos no son nada sencillos, por lo que no vamos a entrar en detalles técnicos.

El cálculo de una edad por medio de la TL, resulta del cociente entre la dosis de radiación que la muestra ha recibido desde su último gran calentamiento, lo que denominamos “dosis equivalente”, y la dosis que anualmente recibía la materia o “dosis anual”.

La dosis equivalente se calcula a través de la medición directa de la emisión termoluminiscente de la muestra, mientras que para la dosis anual se utilizan los contenidos en radioelementos, tanto de las cerámicas como de su entorno. Para que los cálculos resulten correctos, se tienen que tener en cuenta otros factores, como las fases minerales, los tipos de cocción y el contenido en agua, características que pueden inducir a error en los cálculos (Santana, 2000).

La datación de cerámicas (ya sean del neolítico medio, la edad del bronce o romanas), la datación de calcita de estratos arqueológicos, la fecha en la que se incendió el muro de madera de una casa, la última vez que se uso un horno de hierro romano y la datación de fósiles, son algunos de los ejemplos de aplicación de esta técnica de TL, entre muchos otros.

Otra de las aplicaciones más interesantes es la detección de posibles falsificaciones de objetos de arte, a partir de mediciones de TL realizadas en dichos objetos.

IV. Datación por Potasio-Argón

El método del potasio-argón es otra técnica de datación basada en la radiactividad, que

se aplica a la determinación de las rocas que contienen minerales potásicos, permitiendo así fijar la edad de los estratos de la corteza terrestre y, de forma complementaria, datar materiales arqueológicos existentes en ellos. El procedimiento consiste en evaluar la cantidad de argón radiactivo que se conserva en un cuerpo. Este elemento radiactivo se produce por la alteración de un isótopo del potasio, el ^{40}K , cuyo proceso de desintegración da lugar a la formación del argón radiogenético. Por este método se pueden obtener fechas absolutas comprendidas entre 50.000 años y 5.000.000 años. Por consiguiente, el procedimiento de datación del K-Ar completa e incrementa las dataciones del carbono 14 (Schwarcz, 2002).

Entre las aplicaciones del método podemos citar la datación de lavas volcánicas y fósiles de homínidos, sitios como la Garganta de Olduvai o “*cuna de la humanidad*” y las improntas de Laetoli. ■

Bibliografía

BARD, E., HAMELIN, B., FAIRBANKS, R.G., ZINDLER, A. (1990): Calibration of the ^{14}C time scale over the past 30000 years using mass spectrometric U-Th ages from Barbados corals. *Nature* vol. 345, pp. 405-409

BLASCO, C., RAMOS, L., ARRIBAS, J.G., BENÉITEZ, P., MILLÁN, A., CALDERÓN, T. (1992): Aplicación de la termoluminiscencia a la autenticación de piezas de museo: un ejemplo sobre supuestos materiales nazcas y tiahuanacotas del «Museo de América» (Madrid). *Revista Española de Antropología Americana*, 22, pp. 35-51

LÓPEZ SÁEZ, J.A. (2004): *Reconstrucciones paleoambientales a partir de estudios paleopalínológicos y precisiones sobre el uso del método de datación por ^{14}C* . Laboratorio de Arqueo-botánica, Departamento de Prehistoria Instituto de Historia, C.S.I.C.

RASINES DEL RÍO, P. (2005): El final de la Transición. Dataciones de las primeras ocupaciones del Paleolítico Superior en el centro de la Región Cantábrica Museo de Altamira. *Monografías*, 20, pp. 577-587

RODRÍGUEZ TROBAJO, E. (1997): La dendrocronología y el carbono 14 en la datación de bienes culturales. Boletín de información técnica 188. *Laboratorio de dendrodatación. Centro de Investigación Forestal, INIA*. AITIM Julio-Agosto, pp. 52-57.

SANTANA DUCHEMENT, G. (2000): La datación por termoluminiscencia en los materiales cerámicos prehistóricos de Gran Canaria. *Vector Plus*.

SCHWARCZ, H. P. (2002): Chronometric Dating in Archaeology: A Review, *Accounts of Chemical Research*, 35, pp. 637-643

Recursos electrónicos consultados

http://www.mundofree.com/yiatrou/pagina_nueva_6.htm (Consultado en febrero de 2010).

<http://homepage.mac.com/uriarte/carbono14.html> (Consultado en febrero de 2010).

<http://www.gns.cri.nz/rafter/rafter.htm> (Consultado en febrero de 2010).