

BREU HISTÒRIA I APUNTS SOBRE LA DATACIÓ AMB CARBONI 14

Miquel Fernández i Barta

La datació amb carboni 14 (^{14}C), o radiocarboni, és una tècnica de datació cronològica que serveix per establir l'antiguitat de qualsevol objecte constituït per materials que contenen carboni. Per tant, materials com les fustes, els papers, les robes, els derivats dels vegetals, llavors, ossos, restes d'animals amb closca, etc., poden ser datats amb aquestes tècniques, però els metalls, les ceràmiques i molts altres no ho permeten en la majoria de casos, i cal aleshores recórrer a tècniques alternatives.

El ^{14}C és un isòtop¹ del carboni que va ser descobert artificialment en experiències de laboratori i del qual no es tenia notícia en el medi natural. Molt poc temps després de ser descobert per Samuel Ruben i Martin Kamen quan feien experiments relacionats amb la bioquímica del carboni en les plantes, Willard F. Libby, premi Nobel l'any 1960, va veure clarament que aquell element radioactiu havia d'existir en la natura i, encara més, va copsar la possibilitat que oferia per realitzar datacions arqueològiques d'objectes i esdeveniments remots.

El carboni constitueix la part majoritària de les anomenades substàncies orgàniques i en estat natural està format per una mescla de diferents isòtops de masses atòmiques 12, 13 i l'esmentat 14 en petita proporció (1 part entre un bilió). Els dos primers no són radioactius, però el darrer sí que ho és. Precisament aquest procés físic de desintegració del ^{14}C (radioactivitat) és la base sobre la qual es va dissenyar i construir inicialment la tècnica de datació.

La radioactivitat consisteix en la desintegració contínua, progressiva i aleatòria dels nuclis dels àtoms de carboni, de forma que el contingut del ^{14}C va disminuint amb el temps (es va transformant lentament en nitrogen). La velocitat a què es desintegra és una característica pròpia d'aquests àtoms, que és la responsable que cada 5.730 anys la meitat dels nuclis de ^{14}C presents en un material desapareguin. Així, en 5.730 anys solament resta la meitat de la quantitat inicial, en 11.460 anys en queda una quarta part, etc. Aquest temps es coneix amb el nom de semivida i condicionarà efectivament l'antiguitat màxima que pot ser mesurada amb la tècnica del ^{14}C , ja que quan les quantitats romanents del material radioactiu són molt petites no es poden mesurar ni quantificar.

El dubte que pot sorgir en aquest entorn és la següent: com és possible que existeixi ^{14}C en quantitats mesurables si la Terra fa milers de milions d'anys que existeix? La res-

posta, gens evident *a priori*, és, però, molt senzilla: el ^{14}C no s'ha acabat perquè s'està generant de forma contínua en l'atmosfera quan el nitrogen, el component principal d'aquesta, pateix els efectes de les radiacions còsmiques provinents de l'espai i del sol. Aquest carboni generat àtom a àtom esdevé ràpidament diòxid de carboni, que és transportat i absorbit en poc temps per les plantes per passar posteriorment a tots els éssers vius. D'aquesta forma, el contingut de ^{14}C és aproximadament constant en el planeta. Cal remarcar que se suposa que la taxa de creació de ^{14}C i la taxa de transport i distribució mundial són molt aproximadament constants.

Mentre els éssers estan vius, el contingut en ^{14}C dels seus cossos roman constant ja que intercanvien contínuament carboni amb el seu entorn, per exemple en la respiració i la ingesta d'aliments, però un cop morts, s'atura aquest intercanvi i les seves restes ja no incorporen més carboni radioactiu, el qual, d'altra banda, va descomponent-se a un ritme sempre constant. Com més temps ha passat des de la mort, menys quantitat de carboni radioactiu hi ha en els seus teixits. La comparació entre la quantitat present en un ésser viu i la present en les restes o en els materials elaborats amb aquestes restes permet calcular-ne l'antiguitat.

Fer la datació no és, però, tan fàcil com pot haver semblat en l'exposició prèvia. Hi ha molts factors que poden influir en els resultats dels assaigs, i és indispensable tenir-los en consideració tant per aplicar la millor i més correcta tècnica com per preveure'n els errors o les desviacions.

Les limitacions i els errors més importants parteixen de les hipòtesis realitzades en l'origen del material radioactiu. S'ha dit en aquest article que la quantitat de radiocarboni generada en l'atmosfera és constant, però s'ha comprovat que això no és del tot cert; les variacions de l'activitat solar i les variacions del camp magnètic de la Terra en els intervals de temps que considerem (milers o desenes de milers d'anys) fan que el nivell de ^{14}C presenti com a mínim alteracions temporals de caràcter cíclic¹ superposades a altres variacions degudes a canvis de caràcter climatològic: (Fig. 1)

Aquests i altres factors implicats donen lloc a la necessitat de contrastar els resultats que s'obtenien per datació amb ^{14}C amb datacions alternatives ben conegudes i comprovades per altres tècniques. Del procés s'en diu calibració i es comenta amb detall més endavant.

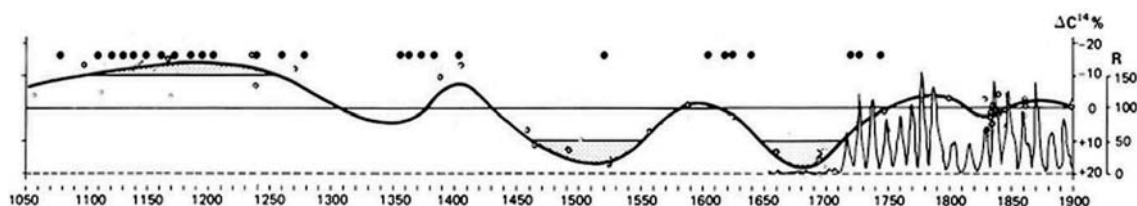


Fig. 1: La gràfica representa la relació entre la variació en la producció de ^{14}C i els cicles d'activitats solar.

La primera contrastació consistí a mesurar la radioactivitat dels éssers vius i l'entorn natural actual (1950) i la corresponent a mostres de les quals es coneix perfectament l'antiguitat per comparar-les amb les previsions que faciliten els càlculs teòrics. Aquest procés proporciona el que s'ha anomenat datació absoluta. Històricament es van utilitzar mostres diverses provinents de l'antic Egipte i mostres de fusta d'edat coneguda mitjançant tècniques dendrocronològiques (la dendrocronologia és una tècnica de datació que es basa en el recompte minuciós dels anells foscos que apareixen en les seccions dels troncs dels arbres i que han estat causats per l'alternança estiu-hivern).

Les primeres sèries de resultats van mostrar una bona aproximació ² entre les antiguitats conegudes i la quantitat de radiació esperable per a les mostres analitzades.

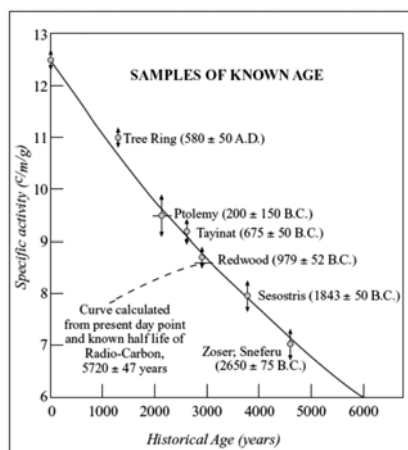


Fig. 2: La gràfica representa els valors originals en la investigació de Libby et al. Els punts representen els valors experimentals de la radioactivitat de les mostres, i la corba contínua, el decaïment radioactiu teòric del ¹⁴C.

En aquest punt ja es disposava d'una tècnica i uns procediments adients per realitzar datacions per radioactivitat, però calia disposar d'una referència que permetés als laboratoris saber quina era la quantitat de radiació actual, de manera que mesurant la quantitat de radiació d'una mostra i la corresponent a la referència es poguessin fer els càlculs pertinents de forma sistemàtica. Partint dels resultats obtinguts i de les investigacions d'E. C. Anderson sobre el nivell de radiació de base dels éssers vius, es va sintetitzar una substància de referència, àcid oxàlic dihidrat, patró que es va definir com a *modern carbon*. Les mesures de radioactivitat es referien a la fracció de radiació emesa en relació a la del patró (fM), i les datacions es referien a la corba de desintegració del carboni radioactiu amb un temps de semi-desintegració de 5.568 anys (malgrat que no és el valor actualment acceptat). En tots els casos els resultats de les datacions prenen com a temps de referència l'any 1950, moment en què es va desenvolupar la tècnica.

Precisions posteriors, especialment les discrepàncies amb la dendrocronologia i l'evidència experimental que els postulats inicials a partir dels quals es va generar el sistema de datació no eren estrictament correctes van modificar els plantejaments inicials, i es va fer necessari definir nous estàndards i sistemes de estimació.

Però mentre es desenvolupaven les tecnologies, es produïen fets importants que van distorsionar la utilitat de la

tècnica i van fer tremolar la fiabilitat dels resultats de la datació per radioactivitat, que –recordem-ho– és el fonament de la tècnica del ¹⁴C. Aquests fets eren la realització de les proves de bombes nuclears en l'atmosfera per diversos països. Les detonacions van introduir canvis significatius en els nivells de radioactivitat i de carboni 14 presents en l'atmosfera terrestre, i van alterar greument el primer postulat fonamental en què es basava la datació: el nivell de ¹⁴C a l'atmosfera no es mantenia ja constant ni de forma aproximada. Des d'aquell moment els canvis introduïts s'havien de monitoritzar i estudiar meticulosament, ja que era l'única manera de poder recalibrar la tècnica de datació.

La ràpida disminució observada dels nivells de ¹⁴C en l'atmosfera va permetre la continuació en l'ús de la tècnica, cada cop més sensible i flexible.

Uns anys més tard la tècnica de datació va millorar en diversos aspectes importants. Dels primers aparells, que eren poc sensibles i es veien influenciats molt fàcilment per les radiacions ambientals, s'ha passat a unes meravelles tecnològiques amb sensibilitats altíssimes que permeten utilitzar mostres de pocs mil·ligrams.

Actualment els aparells de datació per radiocarboni funcionen en base a 3 tecnologies diferents:

1. GPC (Gas Proportional Counting)

La mostra es converteix en gas, normalment diòxid de carboni o metà, i s'envia a un comptador proporcional, que s'omple del gas generat i on es registren electrònicament les descàrregues elèctriques ocasionades per la radioactivitat de la mostra.

2. LSC (Liquid Scintillation Counting)

El carboni de la mostra es converteix en benzè (líquid dissolvent), el qual, després de la mescla amb reactius orgànics adients, és enviat a un dipòsit envoltat de detectors-fotomultiplicadors de llum. Quan un àtom es desintegra el líquid emet una petita pols de llum que és registrada pels detectors.

3. AMS (Accelerator Mass Spectrometry)

El carboni de les mostres és arrencat i transportat des de la mostra per un corrent de partícules accelerades que l'introdueixen en un AMS, que, molt simplificadament, s'encarrega de separar els àtoms de carboni dels altres i finalment separa i compta els que són de ¹⁴C i els que no ho són.

GPC i LSC són tècniques que continuen comptant la radiació emesa per la mostra, i la primera és realment una modificació dels detectors Geiger-Muller. Atès el caràcter aleatori de les emissions radioactives, s'ha d'estar un temps mínim comptabilitzant la radiació per obtenir lectures amb la precisió i exactitud exigides. Habitualment es treballa en intervals de temps que oscil·len entre 12 i 48 hores, segons l'origen i la naturalesa de les mostres.

AMS és una tècnica amb un enfocament diferent, en la qual no es mesura la quantitat de la radiació emesa sinó que realment es comptabilitzen els propis àtoms de ¹⁴C presents en la mostra.

Qualsevol de les tècniques fa necessària una preparació de la mostra prou complexa per tal d'avaluar la naturale-

sa de la mostra mateixa, les possibles fonts d'error i les exigències dels resultats. Amb aquestes tecnologies la sensibilitat assolida ha multiplicat per més de 10.000 respecte de la que obtenien els primers aparells, i la quantitat de material necessari per realitzar la datació s'ha pogut reduir en un factor similar.

La datació de ^{14}C permet trobar l'antiguitat de materials fins a uns 60.000 – 90.000 anys. Per a artefactes més antics cal utilitzar altres tècniques, però aquesta aparent dificultat en límit inferior té una cara positiva: es poden fer datacions eficients d'objectes de pocs centenars d'anys i, per tant, plenament històrics.

En la primera part de l'article s'ha fet una revisió molt ràpida de la història de la datació per radiocarboni; ara, arribats en aquest punt, cal donar un cop d'ull al procés real de datació.

No fem consideracions específiques sobre jaciments ni l'origen concret de possibles mostres en particular, ja que el tema depassa folgadoament els objectius d'aquest escrit, però sí que analitzem els factors que més influeixen en la bondat dels resultats obtinguts i en la interpretació que se n'ha de fer.

Tota datació radiocarbònica ha de ser vàlida en el sentit que acompleixi dues condicions principals: d'una banda, els resultats **han de tenir uns mínims d'exactitud i precisió**; de l'altra, **ha de ser representativa dels esdeveniments o context arqueològic** que s'estudia.

L'exactitud pot dependre de nombrosos factors, els principals dels quals són l'exactitud intrínseca del sistema de lectura mateix, aparells, detectors, etc., així com del sistema d'eliminació d'impureses i del procés químic de preparació de les mostres, que depèn molt de la informació que l'arqueologia subministra al laboratori de datació.

La precisió està intrínsecament determinada per l'aleatorietat del procés radioactiu,² la pròpia del mostreig i el grau de coincidència entre la data radiocarbònica trobada i la data real. El caràcter estadístic dels processos radioactius i dels processos de mesura implica que la data obtinguda sigui un valor també estadístic, que es caracteritza pel seu valor més probable i per un interval de valors que engloba una determinada probabilitat que el valor real hi estigui inclòs. Això determina que els resultats sempre s'expressen com la data probable i l'interval d'incertesa associat al procés. Per exemple, en la datació dels ossos d'un enterrament, se'ls atorga una antiguitat de 2.200 ± 50 anys volent indicar que la data real hauria d'estar entre els 2.150 i els 2.250 anys BP (*before present*, o més exactament, *before 1950*).

Acabat el procés de mesura, i suposant que la significació de la datació es consideri suficient, cal encara tenir en compte el darrer factor: l'escala d'antiguitat radiocarbònica no coincideix amb l'escala temporal solar pel fet que la velocitat de generació i de distribució del ^{14}C no és constant ni en el temps ni en els medis –aquós, terrestre, coves, etc.–, com ja s'havia comentat en les consideracions de la primera part de l'article. El fet és que cal disposar d'una corba de calibratge similar conceptualment a les que havien utilitzat Libby i els seus col·laboradors. En aquesta corba es relacionen les dates de radiocarboni obtingudes amb datacions alternatives ben establertes. Les corbes es

coneixen amb el nom de corbes de calibració. A tall d'exemple, il·lustrem amb la figura 3 una d'aquestes representacions³.

Escala radiocarbònica. Unitat: "Any BP"
Origen de l'escala 1950 (o BP)

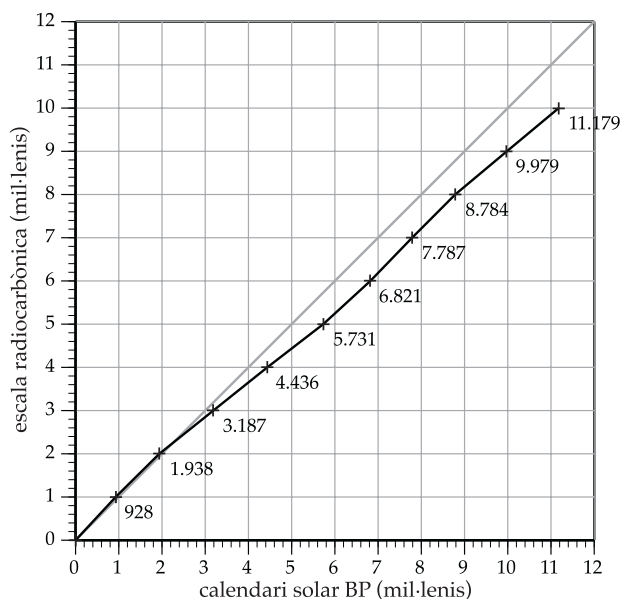


Fig. 3: Forma general de la corba de calibratge per als últims 10.000 anys. Sobre l'eix d'abscisses es representa l'escala cronològica solar en sentit retrògrad i amb origen l'any 1950 dC (anys solars BP). Sobre la corba s'indica el nombre d'anys solars que corresponen a cadascun dels deu primers mil·lennis de l'escala cronològica radiocarbònica.

Evidentment les datacions obtingudes han de ser coherents i compatibles amb el seu entorn. S'ha de seguir un procés crític que permeti entendre la discrepància existent o, en cas contrari, s'hauria de procedir a la revisió de la datació. Un exemple molt significatiu d'aquesta coherència el constitueixen els objectes que havien estat reciclats partint d'altres de més antics, la datació dels quals no pot coincidir amb la d'altres restes del seu entorn arqueològic. És important, doncs, recalcar que el procés d'anàlisi dels resultats ha de partir de la informació arqueològica corresponent i que, lògicament, en el cas de treballar amb artefactes aïllats, això esdevé molt difícil o impossible de realitzar.

Les discrepàncies entre els valors obtinguts i els esperats poden ser explicades sovint per contaminació química o biològica de les mostres, errors i contaminacions en el processament dels materials i desconeixement de la història concreta dels objectes, especialment els singulars.

Per poder tenir una semblança del procés implicat en la datació s'ha inclòs una mínima explicació del procés que se segueix en un laboratori des que entra una mostra sòlida fins que s'obtenen els resultats. Tot el que segueix està referit a la datació per la tècnica AMS i correspon a les operacions reals de dos laboratoris diferents. Les línies generals són extrapolables, però els detalls són propis de cada instal·lació, ja que l'equipament necessari per fer les datacions és un maquinari complex que fins i tot arriba a ser dissenyat entre el laboratori que l'utilitzarà i els fabricants dels diferents elements.

Quan una mostra de material sòlid (paper, pergamí, fusta, tela, etc) entra en el laboratori, es processa analitzant-la visualment amb l'ajut de lúpes estereoscòpiques o microscopis per esbrinar si és homogènia, si està contaminada per fongs, insectes, bacteris, o si està apedaçada, reparada o suplementada, ja que la presència de materials diversos generarà inconsistències en els resultats. Segons aquesta investigació, pot ser necessari intervenir de la forma més convenient per seleccionar i preparar la mostra adient. La tipologia exacta del material i l'experiència permeten determinar el millor procés de preparació de la mostra.

En general, fet el primer control es procedeix a una extracció amb dissolvents per eliminar les substàncies que no conformen la matriu de la mostra, com per exemple els colorants. Després es renta, s'asseca, i el material orgànic resultant es crema per convertir-lo en diòxid de carboni, que es purifica i esdevé grafit (aquest procés s'anomena grafitació), que es modela com si fos una pastilla dins un motllo, el portamostres.

La pastilla, ja preparada i situada en el portamostres, se situa en l'alimentador de les mostres, sigui de forma individualment o en un sistema de múltiples unitats, i l'aparell la introdueix en l'analitzador. Caldrà esperar l'estabilització del sistema i, en acabat, s'inicia l'anàlisi. Un canó de ions es focalitza sobre la mostra, que ha de tenir pocs mil·límetres de secció. Els àtoms de carboni, i els acompanyants que estaven en la pastilla, arrossegats a gran velocitat se separen segons la seva massa i naturalesa per

mitjans electromagnètics. L'eliminació d'impureses es du a terme en tres etapes diferents, per passar finalment a l'etapa de separació darrera, en què se separen els àtoms (o ions en realitat) de ^{12}C , ^{13}C i ^{14}C . Cada un d'ells es recull en un compartiment diferent, dotat dels sensors que en mesuren les quantitats per separat. Els programaris associats als sistemes de detecció elaboren els resultats numèrics finals.

A continuació (figura 4), i per aquest ordre, es mostren les etapes de grafitació de mostres (1), d'injecció (2), l'accelerador i segona etapa de separació (3), la separació final i la detecció (4) i, finalment (figura 5), l'aspecte general d'una instal·lació d'aquest tipus en tot el seu abast.

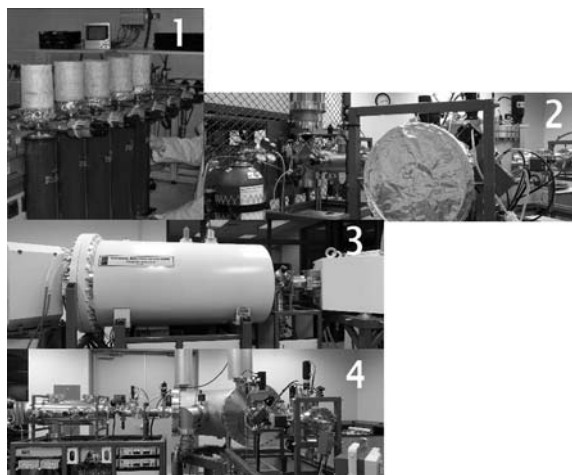


Fig. 4: Les diferents parts d'un AMS.

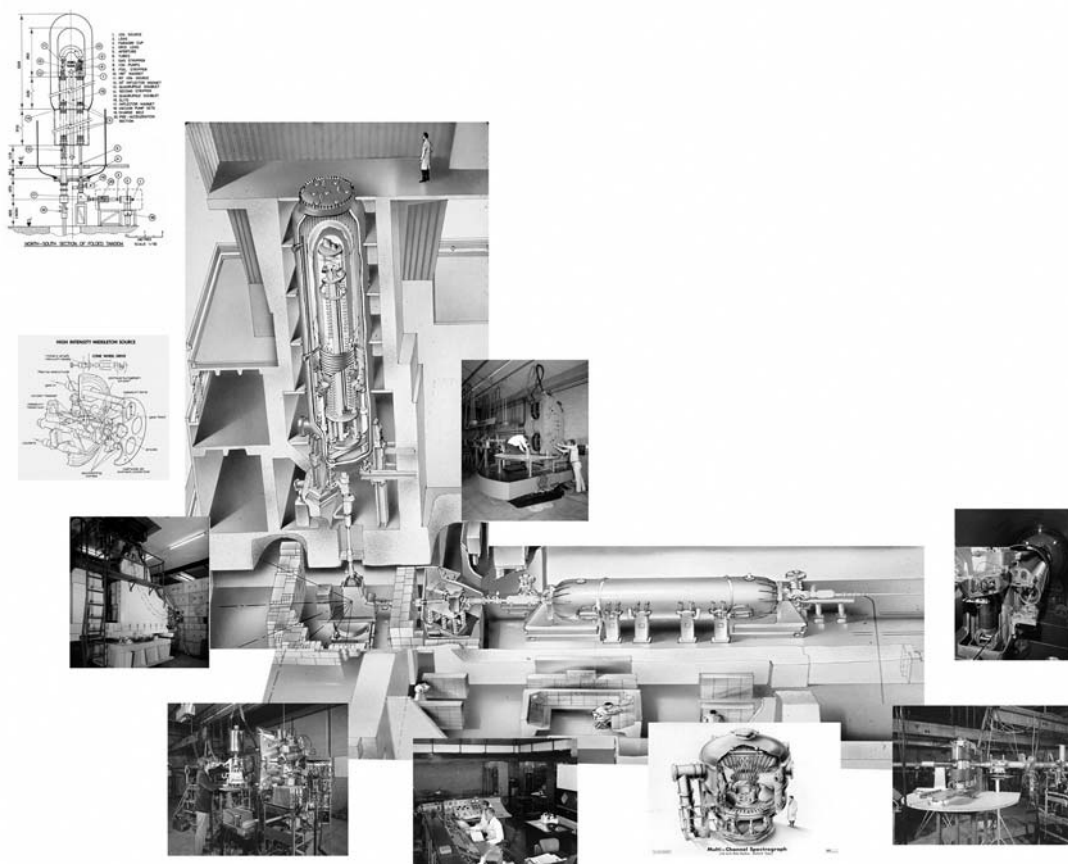


Fig. 5: Aspecte general d'una instal·lació completa que ocupa un edifici sencer.

La instal·lació sencera ocupa una superfície important i requereix condicions de treball molt precises i exigents, voltatges molt elevats, pressions baixíssimes dins el circuit per on viatgen les partícules i gasos purificats, per citar-ne algunes. No cal dir que el personal del laboratori també ha de ser capacitat i experimentat.

I ja per acabar, afegim un comentari sobre la datació amb radiocarboni utilitzada per intentar aclarir l'origen d'un objecte singular: la Sindone o sant sudari.

El 1988 la Santa Seu va permetre que s'examinés el teixit d'aquest venerat objecte. Les universitats d'Oxford i Arizona, juntament amb l'Institut Federal de Tecnologia de Suïssa, es van encarregar d'analitzar independentment les mostres i van coincidir en datacions entre els anys 1260 i 1390; van fixar l'origen de la peça entre els segles XIII i XIV. La controvèrsia està servida: s'han presentat proves a favor i en contra d'aquests resultats. És possible que residus bacterians i reparacions tardanes hagin falsejat els valors obtinguts, però en qualsevol cas els tres resultats mostren una notable coherència. La naturalesa mateixa de l'objecte i les seves característiques culturals i religioses se superposen al procés de datació en si mateix. Sembla, però, que els petits fragments analitzats són medievals sense cap dubte.

Un cop més la tecnologia genera uns resultats que estan supeditats a les interpretacions que se'n fan a *posteriori* i que depenen de factors que tenen un grau de subjectivitat molt considerable.

BIBLIOGRAFIA

1. L. A. Currie, *The remarkable metrological history of radiocarbon dating* [II]. J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 109, 185-217 (2004).
 2. Willard F. Libby, *Radiocarbon Dating*, Univ. Chicago Press, Chicago (1952).
 3. Joan S. Mestres Torres, Joan Garcia i Targa, Antoni Aguilera i Martín. "Datació d'un enterrament humà a Santa Tecla - la Gravosa (Santa Margarida i els Monjos, Alt Penedès)." *Miscel·lània penedesenca*, 26 (2001).
- CfG-CNL. Centre for Geosciences - Cosmogenic Nuclide Laboratory. University of Glasgow:
http://web2.ges.gla.ac.uk/~dfabel/AMS/AMS_schematic.html

NOTES

1. Els isòtops del carboni són àtoms de carboni que difereixen en la seva massa perquè tenen un nombre de neutrons diferent en el seu nucli. El carboni 14 (^{14}C) té un neutró més que el carboni 13 (^{13}C), i aquest un més que el carboni 12 (^{12}C).
2. El temps que tarda a desintegrar-se un àtom és totalment aleatori. Un àtom en concret pot desintegrar-se en 2 anys o en un milió. Però si poguéssim registrar la desintegració d'un nombre cada cop més elevat d'àtoms i calculem el temps mitjà que han tardat a fer-ho, observariem que aquest valor mitjà s'apropa més i més a un valor concret (hi convergeix); aquest valor és el que s'anomena semivida. En el cas del ^{14}C , la meitat dels àtoms es desintegren en un temps mitjà (semivida) de 5.730 anys.

Preu de subscripció anual: 36 € (4 números)

AURIGA

Rda. Universitat, 7, 3r, 4a. 08007 Barcelona. Telèfon: 93 412 32 94. Fax: 93 412 68 71

www.auriga.cat auriga@ccc.cat

BUTLLETA DE SUBSCRIPCIÓ

Nom

Cognoms

Adreça

Població i CP

Telèfon

E. mail

DOMICILIACIÓ BANCÀRIA

Nom

Cognoms

Banc/Caixa(4 dígits i nom)

Agència (4 dígits)

Dígits de control (2 dígits)

Compte (10 dígits)

Adreça

Població