

DATAció D'UN ENTERRAMENT HUMÀ A SANTA TECLA-LA GRAVOSA (SANTA MARGARIDA I ELS MONJOS, ALT Penedès). ASPECTES FONAMENTALS DE LA DATAció PER RADIOCARBONI

JOAN S. MESTRES TORRES
JOAN GARCIA TARGA
ANTONIO AGUILERA MARTÍN

L'excavació dels enterraments de Santa Tecla-La Gravosa (Santa Margarida i els Monjos, Alt Penedès) ens ha permès desenvolupar un estudi a tres nivells complementaris. En primer lloc, l'anàlisi de la documentació material obtinguda com a conseqüència de l'excavació arqueològica. En segon lloc, l'estudi de les restes humanes documentades i, finalment, l'anàlisi radiocarbònica de les mostres d'un dels enterraments.

Aquesta diversitat de vies d'estudi ens ha permès matisar i integrar dins una mateixa línia interpretativa aspectes de rellevància sobre el context cultural de les restes, definició d'uns trets significatius sobre la població de la zona i, finalment, la precisió respecte de la cronologia d'un dels individus enterrats.

Volem expressar el nostre agraïment al Sr. Magí Miret, com a arqueòleg territorial del Servei d'Arqueologia, per l'agilitació dels tràmits per a la realització de la corresponent datació radiocarbònica, i al Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya pel finançament de l'anàlisi. Així mateix, volem agrair a la Sra. Sílvia Soriano la seva valuosa tasca al Laboratori de Datació per Radiocarboni de la Universitat de Barcelona.

DATACIÓ D'UN ENTERRAMENT HUMÀ A SANTA TECLA-LA GRAVOSA (SANTA MARGARIDA I ELS MONJOS, ALT PENEDEÈS). ASPECTES FONAMENTALS DE LA DATACIÓ PER RADIOCARBONI

1. INTRODUCCIÓ

L'any 1993 va sortir publicat a la *Miscel·lània Penedesenca* l'article on fèiem referència als treballs arqueològics duts a terme l'any 1990, així com les diverses consideracions que es desprenien de les restes recuperades. Com a complement de les dades estrictament arqueològiques, es va presentar també un estudi osteològic preliminar sobre les restes òssies humanes (AGUILERA I GARCIA, 1991; GARCIA, AGUILERA I ALACID, 1992).

L'article que ara presentem té com a finalitat donar a conèixer el resultat de l'anàlisi de carboni 14 efectuada sobre les restes òssies d'un dels individus enterrats a Santa Tecla (MESTRES, 1996). D'altra banda, considerem que val la pena introduir dins dels comentaris d'aquesta publicació, consideracions associades a aquests tipus de proves, per tal de ressaltar la seva significació com a eina important en la determinació o precisió cronològica en determinats casos arqueològics.

2. CONSIDERACIONS GENERALS

Tot i que a l'article ja publicat es pot trobar una informació més detallada sobre els trets que van caracteritzar l'excavació, el procés d'es-

tudi del material i la presentació de les corresponents hipòtesis, considerem que val la pena donar unes petites dades de caràcter general.

La intervenció va ser motivada per les obres de remodelació d'un camí veïnal, en les quals es posà al descobert part d'un crani humà que formava part d'un dels marges (figura 1). Com a conseqüència d'aquest fet, van iniciar-se els treballs d'excavació que cobriren una superfície final de 5 metres quadrats (2,50 x 2 metres). La fondària a la qual es trobaven les restes era d'uns 0,50 metres.

Sota un nivell d'enderroc format per pedres, teules, restes de paviment i materials ceràmics, corresponents a una estructura o espai d'habitació, van documentar-se tres enterraments humans que presentaven una correcta posició anatòmica i restes òssies corresponents a altres individus.⁽¹⁾ Dels tres individus documentats, tan sols el referenciat amb el número 3 (figura 2) presentava una cobertura a base de pedres planes i allargades. Els dos restants van ser ubicats en aquest indret sense cap tipus d'estructura o caixa mortuòria. Seqüencialment, i si tenim en compte la fondària absoluta a la qual es trobaven les restes de l'**Individu 3**, sembla que aquest podria ser el més antic del lloc. S'ha de tenir en compte, però, que el farciment que cobria els enterraments era el mateix, tant pel que respecta a la seva potència com per les dades que es poden extreure de l'anàlisi dels materials ceràmics recuperats.

Les diferències entre els tres individus podríem desglossar-les en dos apartats o a dos nivells:

1. La inversió de temps destinat a configurar una caixa o cobertura de pedra per protegir les restes. S'ha de ressaltar que l'anàlisi antropològica ha establert que l'edat d'aquest individu oscil·laria entre els 12 i 15 anys. Pel que respecta als altres dos, l'**Individu 1** s'emmarca dins del marge 30-35 anys, i l'**Individu 2** dins del marge entre 45-55 anys.

Sembla clar que l'**Individu 3**, bé per la seva edat o bé per la seva significació social, va motivar una major inversió de temps que el dedicat als altres dos individus. Dins d'aquesta línia interpretativa, ens resulta normal dins de la documentació arqueològica en contextos funeraris trobar casos en els quals infants o joves que no havien

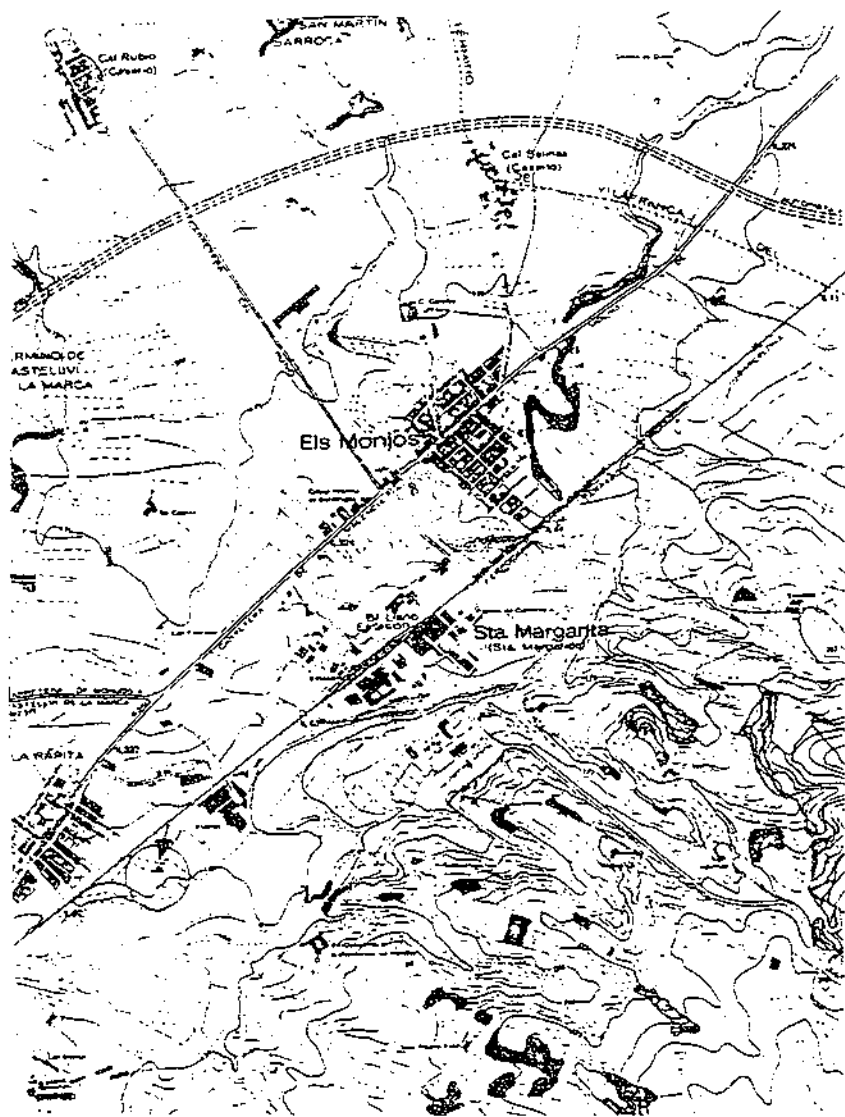


Figura 1: Situació del jaciment.

assolint la seva integració completa dins la comunitat rebessin, per aquesta circumstància, un tractament diferenciat, exemplaritzat en diferències dins l'àmbit material.

Aquest tractament diferenciat pot obeir també a una tercera circumstància explicativa, que ens sembla que pot ser la més encertada. Si, com sembla evident, l'**Individu 3** constitueix la primera persona enterrada a Santa Tecla, es va poder escollir l'espai i destinar un cert treball d'adequació posterior al seu enterrament. Les altres restes podrien correspondre a un moment posterior, poc definible, dins del qual la major quantitat de cossos a situar no va permetre aquests treballs de condicionament. Un fet clar en aquest sentit és l'acumulació de fins a quatre individus més, que sembla que van ser abocats sobre l'**Individu 1**.

2. La desigual orientació del cos. Mentre que els individus **1** i **2** presenten el cap orientat cap al sud i sud-oest, respectivament, l'**Individu 3** tenia el cap orientat cap al nord-est. Pel que respecta a la posició de les restes, en tots tres casos tenim la típica posició de decúbit supí, amb els braços situats, bé paral·lels al cos (**Individu 1**), o bé situats a la cintura amb les mans molt properes entre si.⁽²⁾

Sens dubte, arribats en aquest punt, se'ns plantegen dos problemes o qüestions pel que respecta a la cronologia de treballs efectuats en aquest indret.

Una primera qüestió seria l'establiment precís d'una seriació pel que respecta a la ubicació dels individus enterrats. Si ens orientem per com han estat trobats els enterraments, podríem parlar de fins a tres fases o moments d'utilització d'aquest espai. Una primera correspon a la de l'enterrament de l'individu més jove. Una segona, dins la qual trobaríem els individus **1** i **2**. Finalment, procediren a l'abocament indiscriminat de les restes d'altres persones. El marge de temps dins del qual s'ubicaria aquest procés és realment difícil d'establir en funció de la cronologia dels materials ceràmics recollits. El període de temps que ens delimiten les produccions ceràmiques és molt ampli, entre mitjan segle I i segle IV després de Crist.

La següent qüestió de tipus cronològic se centra a establir una cronologia aproximada dels enterraments humans registrats. A l'arti-

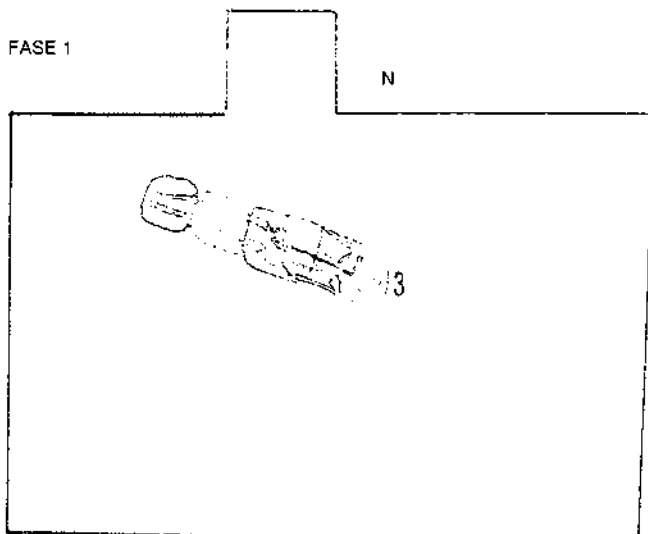
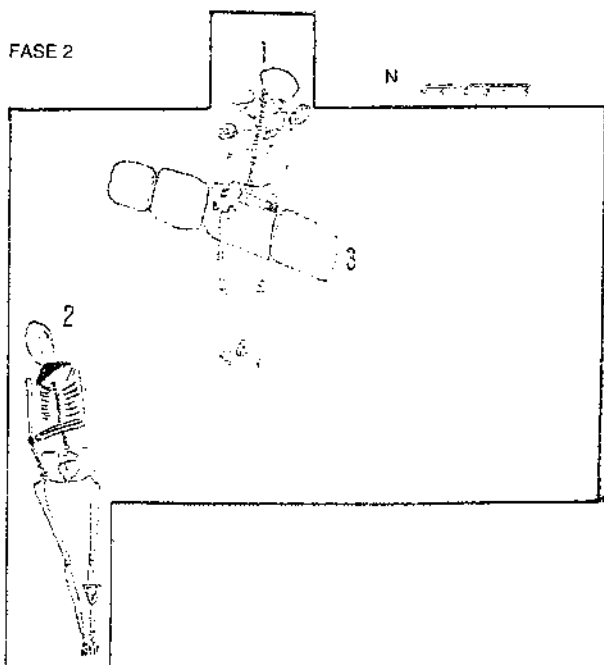


Figura 2: Situació i seriació dels enterraments.



cle referit amb anterioritat, vàrem establir dues possibles cronologies generals per al conjunt d'inhumacions, utilitzant tant les evidències materials recuperades al llarg de l'excavació com la consideració global sobre les evidències registrades en aquest lloc.⁽³⁾

La primera hipòtesi considerava la possibilitat que es tractés d'enterraments d'època romana tardana, aprofitant un espai d'habitació dins d'un conjunt rural tipus vil·la. Possiblement un dels espais del conjunt, inutilitzat com a tal, va ser reaprofitat en un moment posterior com a lloc d'enterrament. Això vindria corroborat pel fet que els materials del farciment que es trobaven sobre les restes òssies serien, lògicament, anteriors a aquestes.

Una segona hipòtesi consideraria els enterraments com a medievals, sense major precisió. L'abandonament complet de la vil·la romana permetria als pobladors de la zona reaprofitar determinats espais de l'estructura, totalment o parcialment enrunada, com a lloc d'enterrament. Així mateix, és normal el fet de trobar materials constructius i restes ceràmiques formant part de les terres abocades per cobrir els cossos.⁽⁴⁾

Exposades aquestes dues possibles vies interpretatives, integrem ara el resultat de l'anàlisi de carboni 14 efectuada a mostres òssies de l'**Individu 3**, procedint prèviament, però, a la revisió d'algunes consideracions necessàries.

3. OBJECTIUS DE LA DATACIÓ PER RADIOCARBONI

Una data radiocarbònica referida a un context arqueològic determinat és una font d'informació cronològica que es pot utilitzar amb dues finalitats diferents segons el coneixement que es tingui del context d'on procedeix el material datat. Si el context arqueològic es pot identificar, la data radiocarbònica s'integra en l'inventari constituït per les altres dates referides a contextos arqueològics anàlegs i, posteriorment, l'anàlisi d'aquest inventari permetrà estimar la duració del període cronocultural al qual pertany el context determinat i la seva situació dins del marc temporal. L'estimació de la situació temporal d'un període cronocultural o d'una manifestació arqueològica concreta d'aquest període cronocultural, i de la

seva durada, és a dir, el seu període de vigència, pot dur-se a terme ja d'una manera implícita i intuïtiva, ja d'una manera gràfica (GASCO, 1985; EVIN *et al.*, 1990; MIRÓ, 1994; MOLIST *et al.*, 1996) o bé d'una manera estadísticament rigorosa mitjançant l'anàlisi probabilística del conjunt de les dates radiocarbòniques que integren l'inventari (MESTRES, 1995; MESTRES I MARTÍN, 1996, CUESTA *et al.*, 1996). En aquestes condicions, la data radiocarbònica s'utilitza amb una finalitat **inductiva**. Si el context arqueològic és desconegut, la seva data radiocarbònica pot comparar-se amb les dates ja existents del registre arqueològic o històric general i, així, inferir la seva atribució cronocultural. En aquestes condicions, la data radiocarbònica s'utilitza amb una finalitat **deductiva**. La forma més immediata d'utilitzar una data radiocarbònica és la deductiva, però cal observar que la utilització deductiva d'una data radiocarbònica suposa una anàlisi inductiva prèvia, si més no implícita, de l'inventari de les dates radiocarbòniques de què ja es disposa, referides al mateix fenomen arqueològic.

4. VALIDESA DE LES DATES RADIOCARBÒNIQUES

Independentment de la utilització que es faci d'una data radiocarbònica, abans ha de complir una condició ineludible: la **validesa**. Perquè una data radiocarbònica sigui vàlida, s'han de complir, al seu torn, dos requisits necessaris. El primer requisit és d'ordre tècnic i és que la data radiocarbònica compleixi les condicions d'**exactitud** i de **precisió**; el segon requisit és d'ordre arqueològic i és que la data radiocarbònica sigui **representativa** de l'esdeveniment o context arqueològic que es pretén datar.

Per **exactitud** d'una data radiocarbònica s'entén la bona correspondència entre la veritable data radiocarbònica del material datat i la data radiocarbònica trobada experimentalment pel laboratori de datació. L'exactitud d'una data radiocarbònica és competència del laboratori i depèn de tres factors: de la idoneïtat i la qualitat del procediment aplicat per eliminar la contaminació —l'elecció encertada del qual depèn de la informació subministrada per l'arqueòleg al laboratori—, de la bondat del procediment químic tendent a la mesura del contingut de radiocarboni i de la qualitat de la mateixa mesura del contingut de radiocarboni.

La **precisió** fa referència a l'amplitud de l'espai de temps en què es pot trobar la veritable data radiocarbònica. És sabut que tota data radiocarbònica experimental és només una aproximació al veritable valor de la data radiocarbònica i que la relació existent entre la data radiocarbònica experimental i la data radiocarbònica veritable ve definida per una distribució de probabilitat de Gauss centrada en la data radiocarbònica experimental. El sentit que té la distribució de probabilitat de Gauss és que delimita un interval de temps caracteritzat pel fet que qualsevol petit segment de temps inclòs dintre de l'interval té una probabilitat no nul·la i calculable que contingui la veritable data radiocarbònica (figures 3 A i B). Per definir completament una data radiocarbònica cal definir, doncs, la distribució de probabilitat de Gauss associada, la qual es caracteritza mitjançant el valor central i la desviació típica. Per aquest motiu, una data radiocarbònica s'expressa amb el format $R \pm s(R)$, on R representa el seu valor experimental i $s(R)$, la desviació típica de distribució de probabilitat de Gauss de la veritable data radiocarbònica al voltant del valor experimental. Com més petita és la desviació típica, més estreta és la distribució de Gauss associada a una data radiocarbònica i, per tant, més precisa és la data.

La precisió d'una data depèn de la quantitat de material de què es disposa, de l'antiguitat del material i del temps invertit en la mesura de l'activitat⁽⁵⁾ del radiocarboni. La relació entre precisió i els factors de què depèn és la següent: la precisió és més gran com més gran és la quantitat de material de què es disposa i com més gran és el temps de mesura i, per altra banda, la precisió és més petita com més gran és l'antiguitat del material datat. El laboratori de datació només té capacitat d'incidència sobre un d'aquests tres factors que és el temps de mesura de l'activitat; tanmateix, aquesta capacitat d'incidència és costosa: per tenir un petit benefici en la precisió cal un augment notable del temps de mesura. En conseqüència, la forma pràctica d'actuar és fixar un temps mínim de mesura, que en el cas del laboratori de la Universitat de Barcelona es de 36 hores. En definitiva, la precisió d'una data radiocarbònica és, en la pràctica, una característica intrínseca del material datat.

El grau de validesa d'una data radiocarbònica respecte a la seva precisió no és absolut sinó que depèn de la disponibilitat i la precisió d'altres dates referides a la mateixa entitat arqueològica. Així, la primera data radiocarbònica referida a un determinat fenomen arqueolò-

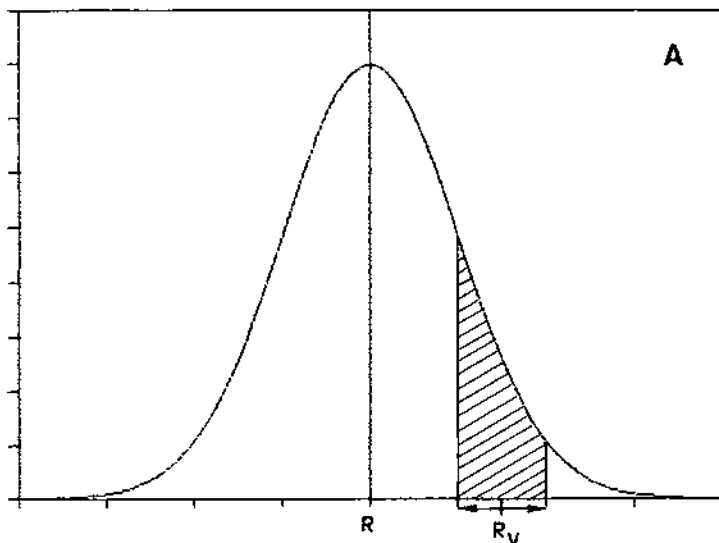
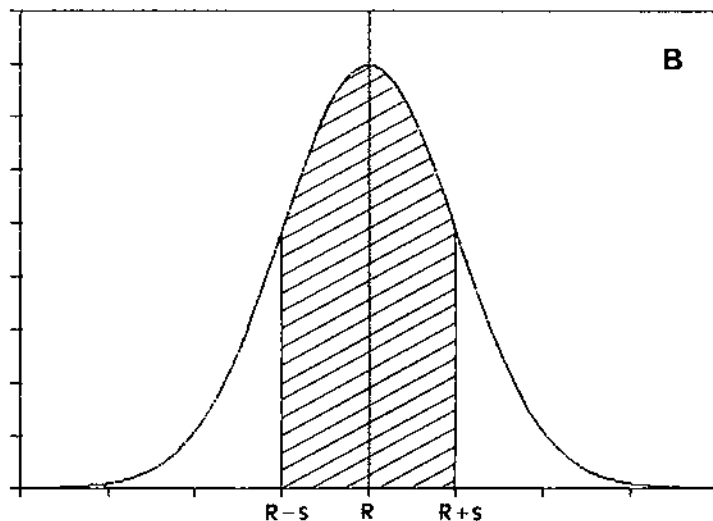


Figura 3: Distribució de probabilitat de Gauss de la veritable data radiocarbònica R_v al voltant de la data radiocarbònica experimental R .
A) L'àrea ombrejada indica la probabilitat que la veritable data radiocarbònica caigui dins l'interval indicat.
B) Probabilitat (àrea ombrejada) que la veritable data radiocarbònica caigui dins l'interval $R \pm s$, on s representa la desviació típica de la distribució de probabilitat de Gauss de la veritable data radiocarbònica.



gic és vàlida encara que no sigui gaire precisa; una data no gaire precisa també és vàlida si les dates anàlogues tampoc ho són, però no té gens de validesa si les dates anàlogues són molt més precises que ella.

Com més precisa és una data radiocarbònica, més ben definida queda la seva exactitud. En termes senzills, però bastant aproximats, pot afirmar-se que una data és exacta quan el seu veritable valor es troba dins l'interval limitat per la distribució de probabilitat de Gauss, i és inexacta quan cau fora d'aquest interval.

Per **representativitat** d'una data radiocarbònica s'entén la bona correspondència entre la data radiocarbònica del material datat i la data radiocarbònica del context o esdeveniment arqueològic que es pretén datar. La causa d'aquest requisit és el fet que, per la seva pròpia naturalesa, la datació per radiocarboni data la formació dels materials i no els esdeveniments arqueològics en què participen o els contextos on es troben tals materials. D'això es dedueix que perquè una data radiocarbònica sigui representativa de l'esdeveniment que es pretén datar, el material datat ha de complir dues condicions: en primer lloc, que el material mateix o la seva presència en el context arqueològic ha de ser producte de l'activitat del grup humà que creà el context i, en segon lloc, que la seva formació sigui contemporània al context arqueològic. Aquestes dues condicions del material datat s'anomenaran **associació** i **sincronia**, respectivament, i juntes conformen la **representativitat** de la data radiocarbònica. L'associació no comporta necessàriament la sincronia ja que hi pot haver associació sense sincronia. Així, els elements constructius de fusta d'un edifici estan, evidentment, associats a l'edifici, però si la fusta fos reutilitzada, procedent d'una construcció més antiga, mancaria el requisit de la sincronia i la fusta no representaria l'esdeveniment arqueològic que fóra la construcció de l'edifici. Un altre exemple de manca de sincronia el constitueix la datació d'un artefacte d'os perfectament associat al seu context arqueològic, però elaborat sobre una peça d'os ja antiga en el moment de la seva talla; la data trobada correspondria al moment de la formació de l'os i no al moment de l'elaboració de l'artefacte que és la representativa del context. En general, el material objecte de datació té una edat més antiga que el moment en què es va dipositar i va quedar associat al context arqueològic que es pretén datar, és a dir, que els defectes de sincronia produeixen dates radiocarbòniques més altes.

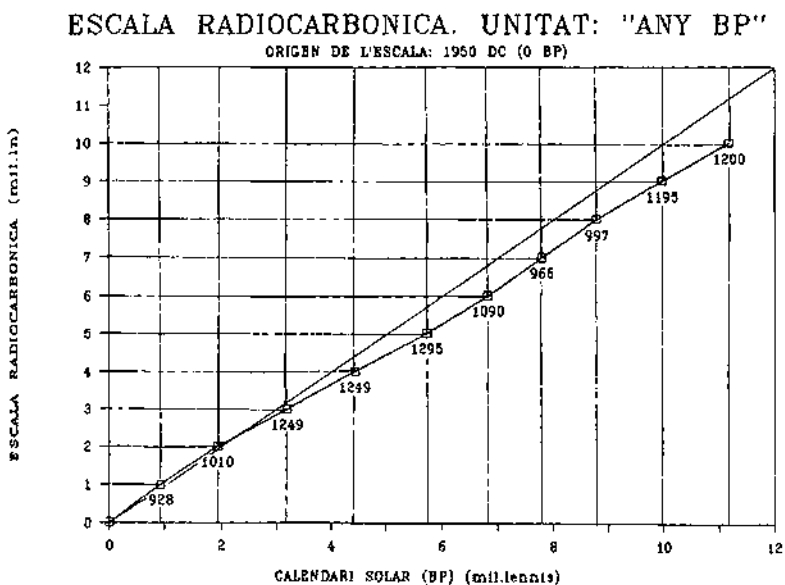


Figura 4: Forma general de la corba de calibratge per als últims 10.000 anys. Sobre l'eix d'abscisses es representa l'escala cronològica solar en sentit retrògrad i amb origen a l'any 1950 dC (anys solars BP). Sobre la corba s'indica el nombre d'anys solars que corresponen a cadascun dels deu primers mil·lennis de l'escala cronològica radiocarbònica.

5. EXAMEN DELS FACTORS TÈCNICS QUE INFLUEIXEN EN LA VALIDESA D'UNA DATA RADIOCARBÒNICA

S'ha vist que perquè una data radiocarbònica sigui vàlida ha de complir uns requisits d'ordre tècnic i uns requisits d'ordre arqueològic i que entre tots aquests requisits, el laboratori només té capacitat d'incidència sobre l'exactitud. A continuació es revisen tots els factors que poden influir sobre l'exactitud de la data radiocarbònica en qüestió i els mitjans que habitualment s'adopten per tal d'aconseguir la millor exactitud possible.

5.1. Eliminació de la contaminació

A causa de la seva exposició als agents exteriors, els materials arqueològics adequats per a la datació per radiocarboni adquireixen

carboni no propi de la seva estructura, sinó procedent del medi extern; d'aquest procés se'n diu contaminació. La contaminació s'anomena macroscòpica o mecànica quan els agents contaminants tenen entitat visible, com ara terra, arrels, petites pedres, cossos d'insectes, etc. La contaminació s'anomena macroscòpica o química quan no és visible a ull nu perquè es produeix per infiltració al material objecte de datació de substàncies que contenen carboni d'origen extern i que arriben arrossegades o dissoltes en les aigües. La contaminació microscòpica es produeix generalment per infiltració de carbonats dissolts en les aigües i per infiltració d'àcids humics i fúlvics produïts per l'activitat biològica del sòl en nivells superiors. Tots aquests materials poden contenir carboni d'origen anterior o posterior al del material objecte de datació que si no se separés, s'integraria en la substància on es mesura el contingut de radiocarboni i produiria una mesura que, encara que tècnicament fos de bona qualitat, no representaria el contingut de radiocarboni del material objecte de datació.

Els materials objecte de datació se sotmeten a un tractament que té el propòsit d'eliminar els components aliens a la seva pròpia naturalesa i la contaminació procedent de l'exterior causada per compostos químics de cronologia no definida, i conservar amb la major integritat possible els constituents representatius de l'edat del material datat.

La contaminació macroscòpica, per la seva visibilitat, s'elimina per mitjans mecànics o físics, ja sigui per extracció manual, tamisat, flotació, rascat, etc. Una vegada eliminada la contaminació macroscòpica, es procedeix a l'eliminació de la contaminació microscòpica, però per la seva naturalesa s'ha de recórrer a mitjans químics.

Els ossos estan constituïts per una fracció orgànica formada majoritàriament per col·lagen i una fracció mineral composta per hidroxiapatita, carbonat càlcic i fluorurs de calci i magnesi. En principi, totes dues fraccions poden ser objecte de datació, però s'ha observat la possibilitat de bescanvi iònic entre l'ió carbonat de l'os i l'ió carbonat dissolt en les aigües. Aquest bescanvi iònic constitueix una possibilitat de contaminació, impossible d'eliminar per la seva naturalesa química, que inhabilita la fracció mineral per a la datació. De fet, la datació de la fracció mineral, molt més senzilla que la de la fracció orgànica, va ser la que es va utilitzar en els primers temps de la

datació per radiocarboni per a la datació d'ossos, però es van obtenir resultats força inexactes en algunes ocasions, cosa que va atribuir als ossos la reputació de materials poc aptes per a la datació i que en alguns sectors s'ha mantingut fins al present. Aquesta idea s'ha des-terrat d'ençà que s'utilitza per a la datació dels ossos la fracció orgànica i dintre d'aquesta, en particular, el col·lagen. El col·lagen, tot i que és objecte de degradació en el transcurs del temps, no està subjecte al bescanvi de carboni, per la qual cosa és un material idoni per a la datació, però necessita ser extret de l'os.

L'extracció del col·lagen es realitza en dues etapes (LONGIN, 1970, 1971). En primer lloc, l'os polvoritzat es tracta amb àcid clorhídric que dissol la fracció mineral i deixa com a residu la matèria orgànica de

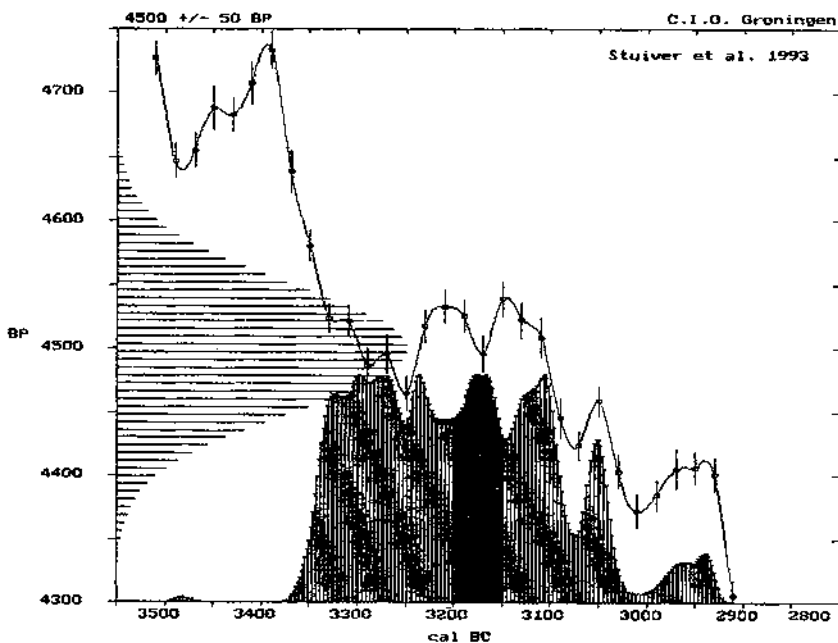


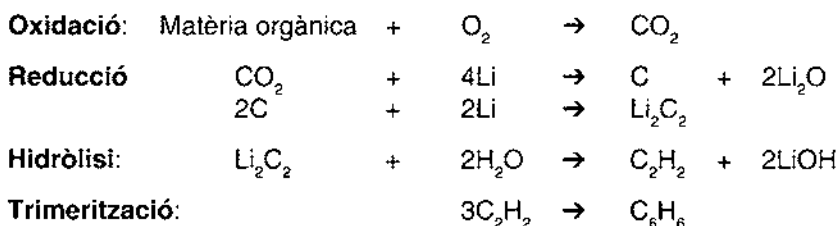
Figura 5: Tram de la corba de calibratge amb indicació sobre l'eix d'ordenades de la distribució gaussiana de probabilitat de la data radiocarbònica 5300 ± 50 BP i sobre l'eix d'abscisses, de la distribució de probabilitat de la data calibrada. L'àrea més fosca indica la probabilitat que la veritable data calibrada caigui dins l'interval cal BC 3150-3200.

l'os juntament amb materials aliens que omplen la trama trabecular, majoritàriament terra que pot contenir matèria orgànica i àcids húmics. El residu insoluble en àcid es tracta després en calent amb una solució amortidora d'àcid fosfòric a pH adequat (MESTRES *et al.*, 1991) que hidrolitza el col·lagen a gelatina i s'aconsegueix la seva solubilització. D'aquesta manera se separa el col·lagen de la resta de la matèria orgànica aliena a l'os, que queda com a residu sòlid. Finalment, per evaporació del dissolvent es recupera la gelatina, apta per a la datació.

Aquest procediment garanteix que la substància datada sigui consubstancial a l'os, és a dir, que es data el mateix os. A més, pel fet de tractar-se d'una extracció selectiva d'un component de la matèria orgànica, també hi ha garantia que la gelatina es trobi, amb una probabilitat molt alta, exempta de contaminació.

5.2. Preparació de la mesura. Síntesi de benzè

La mesura del contingut de radiocarboni present en qualsevol material requereix l'aïllament del carboni en forma d'un compost químic definit d'una puresa química i radioquímica tan elevada com sigui possible per tal d'evitar errors en el procés de mesura. La naturalesa de la substància en la qual es mesura el contingut de radiocarboni depèn de la tècnica usada per a la mesura. Si s'utilitza el centelleig líquid per a la mesura, el carboni s'ha de transformar en benzè. La transformació del carboni en benzè passa per diverses etapes. La primera és l'oxidació del material, és a dir, la transformació en diòxid de carboni; la segona és la reducció del diòxid de carboni a carbur de liti amb liti metàl·lic; la tercera és la hidròlisi del carbur de liti a acetilè amb aigua exempta de triti; i, per últim, la quarta etapa consisteix en la trimerització catalítica de l'acetilè a benzè. El procediment pot resumir-se en les següents equacions químiques:



Les causes d'error i, per tant, d'inexactitud podrien ser el fraccionament isotòpic, la contaminació durant el procés químic, o la introducció de triti en el procés d'hidròlisi, aspectes que es controlen en el treball normal del laboratori (MESTRES *et al.*, 1991).

5.3. Mesura radiomètrica de l'activitat del radiocarboni

La datació per radiocarboni es basa en l'ús de l'equació

$$R = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \times \ln \frac{A_{0N}}{A_{SN}}$$

on R és la data radiocarbònica experimental, A_{0N} representa l'activitat específica inicial i A_{SN} representa l'activitat específica corregida pel fraccionament isotòpic del material objecte de datació. L'obtenció d'una data radiocarbònica requereix, doncs, el coneixement de la relació d'aquestes dues magnituds. La primera és constant i coneguda per definició; per consegüent, a primera vista, sembla que només seria necessària la mesura de la segona. Ara bé, tota mesura experimental és susceptible d'errors sistemàtics i, per aquest motiu, un error sistemàtic que afectés la mesura d' A_{SN} suposaria també un error en la data radiocarbònica. Tanmateix, si el laboratori determina per ell mateix l'activitat inicial de radiocarboni en les mateixes condicions experimentals en què es mesura l'activitat del material datat, l'error sistemàtic que pogués afectar tal mesura seria el mateix que el que afectaria la mesura de l'activitat del material datat. En aquestes circumstàncies, com que el possible error sistemàtic afecta de la mateixa manera ambdós membres de la relació, la probabilitat d'error sistemàtic en el quocient és molt petita.

Una altra possible causa d'error en la determinació de la data radiocarbònica, tot i mesurar l'activitat inicial i l'activitat del material datat en les mateixes condicions, és el deteriorament del patró que serveix per mesurar l'activitat inicial o l'aparició de possibles derives en el fons o en l'eficiència de l'instrument de mesura, que afectessin només una de les mesures. Aquestes causes d'error es descobreixen i es poden corregir duent a terme les mesures en forma fraccionada i repetitiva, en condicions de quasi-simultaneïtat i utilitzant un patró d'activitat inicial per a cada mesura o bé un patró secundari.

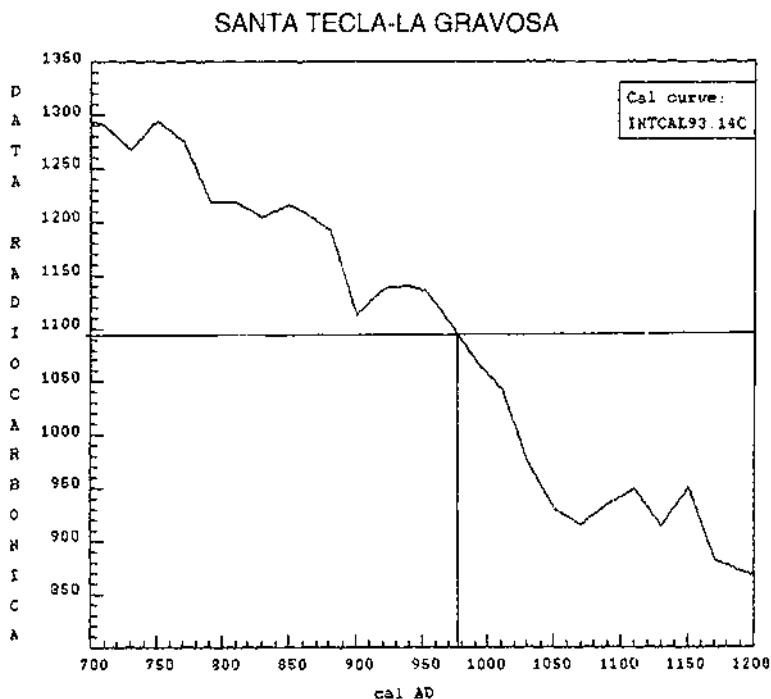


Figura 6: Porció de la corba de calibratge utilitzada per al calibratge de la data radiocarbònica UBAR-441 i la intersecció d'aquesta amb la corba de calibratge que proporciona la data calibrada experimental.

Per descobrir la possible existència d'errors sistemàtics en les seves dates, i corregir-los si és el cas, els laboratoris de datació per radiocarboni participen en programes d'intercomparació a nivell mundial (SCOTT *et al.*, 1990 i 1992; GULLIKSEN I SCOTT, 1995) i poden controlar llur exactitud mitjançant la datació de materials de referència (ROZANSKI *et al.*, 1990).

S'ha pogut veure que els laboratoris prenen totes les precaucions que tenen al seu abast per minimitzar el risc d'errors en la determinació de les dates radiocarbòniques i per tant poder garantir amb una probabilitat elevada l'exactitud dels seus resultats. Tanmateix, s'ha de reconèixer que el risc d'error no es pot eliminar d'una manera absoluta, ja que pot presentar-se la possibilitat, encara que amb una probabilitat molt baixa, d'una contaminació rara i imprevisible o algun

problema puntual insospitat en la síntesi del benzè. Per eliminar l'última i remota possibilitat que una data radiocarbònica pateixi una deficiència d'exactitud, sobretot quan s'obtenen resultats inesperats, no queda altra solució que fer datacions replicades utilitzant, si és possible, distints materials o bé, si existeix una estratigrafia, datar els distints estrats i examinar la coherència entre la cronologia relativa i les dates radiocarbòniques obtingudes.

6. OBJECTIU DE LA DATA RADIOCARBÒNICA ESTUDIADA

La situació cronològica dels enterraments de Santa Tecla-La Gravosa es pot inferir de les evidències purament arqueològiques. En efecte, recordant l'estudi arqueològic publicat (GARCÍA, AGUILERA I ALACID,

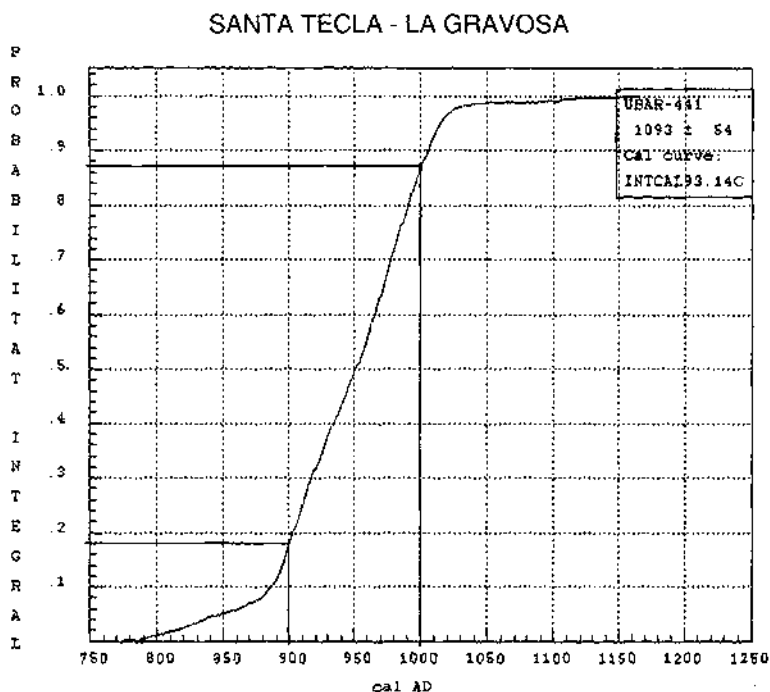


Figura 7: Corba de probabilitat integral corresponent al calibratge de la data radiocarbònica UBAR-441 amb indicació del càlcul que la veritable data calibrada estigui en el segle x dC.

1992), és fora de tot dubte l'existència en el lloc d'una vil·la romana entre els segles II i IV després de Crist, amb una major representació dels materials ceràmics posteriors al segle II. En aquest context, els enterraments podrien tenir el seu origen en una època romana tardana, lleugerament posterior als últims materials ceràmics documentats, aprofitant un espai d'habitació dins del conjunt rural de tipus vil·la. Tanmateix, no es pot excloure una possible ocupació posterior medieval a causa de les facilitats agrícoles de l'indret, possibilitat ratificada per la presència d'algun element medieval, tal com la base d'un mur. Aquesta situació concreta de les evidències arqueològiques confereix, doncs, a la data radiocarbònica una utilització netament deductiva amb la finalitat de confirmar les apreciacions purament arqueològiques. És evident, per altra banda, que encara que la cronologia es pogués deduir per mitjans

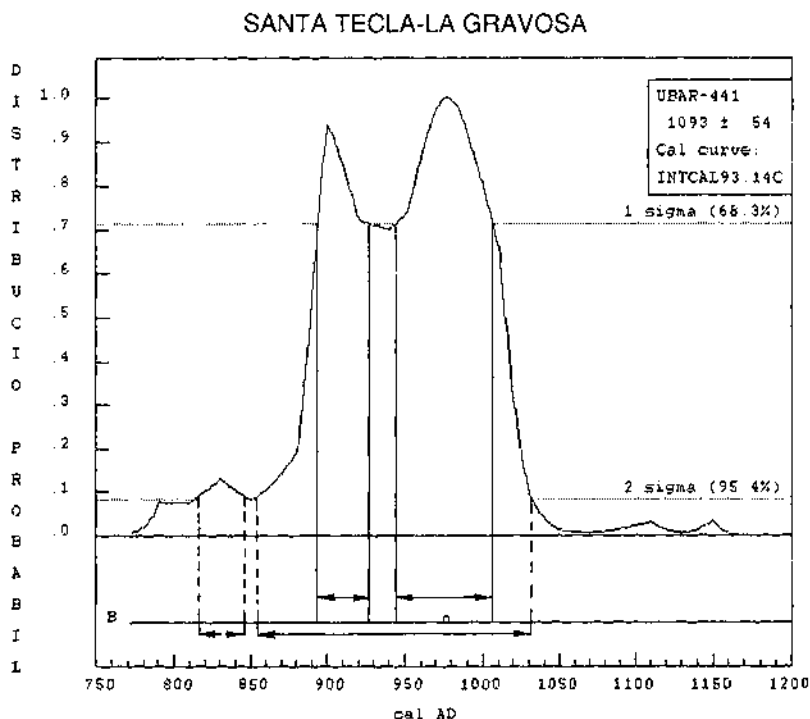


Figura 8: Distribució de probabilitat corresponent al calibratge de la data radiocarbònica UBAR-441 amb indicació dels intervals corresponents a una probabilitat del 68,3% i del 95,4%.

exclusivament arqueològics, no tindria interès una utilització inductiva de la data radiocarbònica, ja que qualsevol dels dos possibles períodes en joc, la Hispània romanitzada o l'època medieval, no necessiten la datació per radiocarboni per establir els seus períodes de vigència i l'interès de la data radiocarbònica residiria en establir només un moment concret dintre del període considerat.

7. DATA RADIOCARBÒNICA DEL CONTEXT ESTUDIAT I EL SEU CALIBRATGE

La datació per radiocarboni es basa en una hipòtesi fonamental que afirma que l'activitat del carboni en la biosfera s'ha mantingut constant al llarg del temps. Un corol·lari immediat d'aquesta hipòtesi és que l'activitat inicial de tots els materials objecte de datació d'origen biogènic s'ha mantingut també constant en el temps. La conseqüència d'aquesta hipòtesi és molt important, ja que permet la utilització d'un únic valor de l'activitat inicial independent del temps i del material datat, la qual cosa ha permès dur a la pràctica la datació per radiocarboni.

Plantejada d'aquesta manera, la datació per radiocarboni només proporcionarà dates fidels en la mesura en què la hipòtesi fonamental en què es basa sigui certa. Avui se sap que la hipòtesi fonamental en què es basa la datació per radiocarboni no és totalment certa, sinó que hi ha hagut petites fluctuacions del contingut de radiocarboni de l'atmosfera, degudes a variacions de la velocitat de formació del radiocarboni, que després han produït variacions del seu contingut en la biosfera. Una conseqüència immediata d'aquest fet és que les dates radiocarbòniques no són fidels al calendari solar i que la datació per radiocarboni genera la seva pròpia escala cronològica que s'anomena **escala cronològica radiocarbònica**.

L'escala cronològica radiocarbònica és un sistema d'expressió del temps transcorregut plenament vàlid i constitueix una escala cronològica absoluta que discrepa, però, de l'escala cronològica solar que és la manera habitual d'expressar el temps transcorregut. A fi de poder relacionar la cronologia històrica, expressada en l'escala cronològica solar, amb la cronologia radiocarbònica, expressada en l'escala cronològica radiocarbònica, cal transformar les dates radiocarbòni-

ques en dates solars; aquest procés s'anomena **calibratge** de les dates radiocarbòniques.

La dendrocronologia permet establir la relació existent entre l'escala cronològica radiocarbònica i l'escala cronològica solar (STUIVER *et al.*, 1993) i la representació gràfica d'aquesta relació s'anomena **corba de calibratge**. La figura 4 mostra la forma general de la corba de calibratge per als últims 10.000 anys i pot observar-se amb claredat la discrepància de les dues escales cronològiques, ja que si fossin equivalents la correlació entre elles seria representada per la línia recta (MESTRES, 1995). El calibratge d'una data radiocarbònica és un procés complex per tres motius:

- Per la forma complexa de la corba de calibratge
- Pel caràcter no puntual sinó probabilístic de la data radiocarbònica
- Per la incertesa que afecta la mateixa corba de calibratge

Com a exemple, la figura 5 mostra un tram de la corba de calibratge; sobre l'eix d'ordenades s'indica una data radiocarbònica representada per la seva distribució de probabilitat de Gauss i sobre l'eix d'abscisses la distribució de probabilitat de la data calibrada. Com a conseqüència d'aquesta complexitat, és vivament desaconsellable la vella pràctica de substraure 1950 anys a les dates radiocarbòniques amb la finalitat d'expressar-les en cronologia solar cristiana.

A causa del caràcter no lineal de la corba de calibratge, la distribució de probabilitat de la veritable data calibrada al voltant de la data calibrada experimental no és una simple distribució de probabilitat de Gauss, com és el cas de la distribució de probabilitat de la veritable data radiocarbònica. La distribució de probabilitat de la veritable data calibrada és una distribució de probabilitat complexa que pot presentar múltiples modes.

La complexitat de la distribució de probabilitat de la data calibrada impedeix una representació tan simple com la de la data radiocarbònica amb només dos paràmetres. La forma més completa de representar una data radiocarbònica calibrada és la corba de probabilitat integral (figura 7) perquè permet calcular la probabilitat que la veritable data calibrada es trobi dins de qualsevol interval de temps com la diferència entre les ordenades corresponents als extrems de l'interval.

Si es vol representar una data calibrada en forma numèrica, s'estableix una analogia amb la data radiocarbònica i es calculen els intervals de temps que centrats en les modes de la distribució de probabilitat de la veritable data calibrada tenen una probabilitat total del 68,3%, o bé del 95,4%, que continguin la veritable data calibrada (VAN DER PLICHT I MOOK, 1989). Aquests valors de la probabilitat no són arbitraris, sinó que corresponen a la probabilitat que la veritable data radiocarbònica caigui en un interval de temps que centrat en la data radiocarbònica experimental tingui una amplada equivalent a una o dues vegades la desviació típica, respectivament (vegeu figura 3B). Una altra forma de representar una data radiocarbònica calibrada és la seva distribució de probabilitat (figura 8), que permet apreciar d'una forma gràfica els intervals de temps més probables.

A continuació es mostra la data radiocarbònica de l'**Individu 3** de Santa Tecla-La Gravosa i l'expressió numèrica de la data calibrada en les condicions que s'acaben de descriure (STUIVER I REIMER, 1993).

Data radiocarbònica:

Individu 3	UBAR-441	1090 ± 50 BP
-------------------	-----------------	---------------------

Data calibrada

Data calibrada experimental, corresponent a la intersecció del valor experimental de la data radiocarbònica amb la corba de calibratge (STUIVER I PEARSON, 1993). Correspon a la moda màxima de la distribució de probabilitat.

cal AD 977

Intervals de la data calibrada amb una probabilitat total del 68,3% definits a l'entorn de les modes de la distribució de probabilitat de la data calibrada amb la probabilitat associada a cada interval.

cal AD 895 - 925	22,5%
cal AD 945 - 1005	46,8%

Intervals de la data calibrada amb una probabilitat total del 95,4% definits a l'entorn de les modes de la distribució de probabilitat de la data calibrada amb la probabilitat associada a cada interval.

cal AD 815 - 845	2,9%
cal AD 855 - 1030	92,5%

La figura 6 mostra la porció de la corba de calibratge utilitzada per al calibratge de la data radiocarbònica i la intersecció d'aquesta amb la corba de calibratge; la figura 7 presenta la corba de probabilitat integral i, finalment, la figura 8 mostra la distribució de probabilitat de la data calibrada, que permet apreciar les modes de la distribució i els intervals més probables de la data calibrada indicats numèricament més amunt. Com a exemple d'utilització de la corba de probabilitat integral, la figura 7 mostra també que la probabilitat que la veritable data calibrada estigui al segle x després de Crist és del $0,87 - 0,18 = 69,0\%$.

8. VALORACIÓ DE LA INTEGRACIÓ DE LA DATA RADIOCARBÒNICA EN EL CONTEXT ESTUDIAT

L'evidència arqueològica indica, amb una alta possibilitat de versemblança, una utilització romana d'època tardana de l'espai sepulcral estudiat; tanmateix, la datació per radiocarboni de les restes humanes estableix una data calibrada que amb una probabilitat del 69% correspon al segle x després de Crist i amb un 92,5% de probabilitat correspon a un espai de temps comprès entre la segona meitat del segle ix i el primer terç del segle xi. La figura 7 mostra també que només amb un risc d'error de l'1%, la data calibrada és posterior al començament del segle ix. Queda, doncs, fora de tot dubte l'origen altomedieval de les restes datades, amb una major probabilitat corresponent al segle x. La discrepància entre l'evidència arqueològica i la data radiocarbònica, si s'exclou una manca d'exactitud, cal atribuir-la a una deficiència de representativitat de la data radiocarbònica del context estudiat. Com que en el cas d'un enterrament primari la sincronia és inqüestionable, ja que la formació del material datat i la seva deposició en el context arqueològic són virtualment simultànies, cal admetre que la causa de la discrepància entre data i context és la manca d'associació entre material datat i context arqueològic que es pretén datar. La presència d'ossos no associats al context estudiat ha de ser deguda a una intrusió d'origen posterior al context estudiat, que la data radiocarbònica mostra que és tracta de la utilització d'una antiga construcció romana com a espai sepulcral altomedieval.

L'exemple de l'anàlisi realitzada de la representativitat d'una data radiocarbònica mostra la importància d'aquest factor en la seva interpretació. Si la manca de representativitat passa inadvertida i la

data radiocarbònica s'utilitza amb una finalitat deductiva, un defecte de representativitat de la data radiocarbònica pot atribuir un període cronocultural fals al context o entitat arqueològica que es pretén datar; si la data radiocarbònica s'utilitza amb una finalitat inductiva, el defecte de representativitat pot ocasionar la inferència d'un període de vigència erroni. Inversament, quan una data radiocarbònica no respon a les expectatives suggerides pel context arqueològic a què fa referència i amb una grau raonable de certesa pot descartar-se la deficiència d'exactitud, cal conciliar l'evidència arqueològica amb l'evidència subministrada per la datació buscant la causa de la discrepància en un defecte de representativitat de la data radiocarbònica.

NOTES

- (1) L'estudi antropològic fet per Esther Alacid destaca la presència de «restes que pertanyen a tres individus ben diferenciats (dos adults i un jove) i, a més, hi ha més restes que pertanyen com a mínim a quatre individus més» (GARCIA TARGA, AGUILERA MARTÍN i ALACID, 1993: 192).
- (2) S'ha de senyalar que, tot i la bona conservació general de les restes, tant les extremitats superiors com les inferiors presentaven un pitjor grau de conservació que ens impedeix matisar més dades en aquest sentit.
- (3) Les dades de camp recollides per Pere Giró van ser integrades per J.-J. GORGES dins la seva obra *Les villes hispano-romaines* (pàg. 213), París, 1979. Dins l'inventari de materials referits, en destaquen diverses mostres, tant de restes constructives com ceràmiques, atribuïbles a un assentament tipus vil·la emmarcable cronològicament des del segle I abans de Crist fins al segle II després de Crist.
- (4) Un exemple semblant el trobem a les tombes documentades molt a prop de l'església del Vinyet de Sitges (GARCIA TARGA i REVILLA CALVO, en premsa).
- (5) L'activitat es refereix al nivell de radioactivitat i la seva mesura és necessària per determinar el contingut de radiocarboni.

BIBLIOGRAFIA

- AGUILERA, A., i J. GARCIA (1991). "Memòria de l'excavació arqueològica al jaciment de Santa Tecla-La Gravosa (Santa Margarida i els Monjos, Alt Penedès)". Presentada al Servei d'Arqueologia de la Generalitat de Catalunya (inèdita).
- CUESTA, F.; J. F. JORDÀ; J. L. MAYA; J. L., i J. S. MESTRES, (1996). "Radiocarbono y cronología de los castros asturianos". *Zephyrus*: en premsa.
- EVIN, J.; O. AURENCHÉ, i J. GASCO (1990). "Techniques for the classification, selection and interpretation of a series of ^{14}C dates from the Near East" a *Proceedings of the Second International Symposium ^{14}C and Archaeology*. PACT 29, Council of Europe, Strasbourg.

- GARCIA, J.; A. AGUILERA, i E. ALACID (1992). "Santa Tecla-La Gravosa: estudi arqueològic i antropològic de tres enterraments humans". *Miscel·lània Penedesenca* xvii: 175-192.
- GASCO, J. (1985). "Histogrames et dates radiocarbone". *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 82(4): 108-111.
- GORGES, J.-J. (1979). *Les villes hispano-romaines*. Paris.
- GULLIKSEN, S., i M. SCOTT (1995). "Report of the TIRI Workshop, Saturday 13 august 1994". *Radiocarbon* 37(2): 820-821.
- LONGIN, R. (1970). "Extraction du collagène des os fossiles pour leur datation par la méthode du carbone 14". Thèse No. 553, Université de Lyon.
- LONGIN, R. (1971) "New method of collagen extracion for radiocarbon dating". *Nature* 230: 241-242.
- MESTRES, J. S.; J. F. GARCIA, i G. RAURET (1991) "The Radiocarbon Laboratory at the University of Barcelona". *Radiocarbon* 33(1): 23-34.
- MESTRES, J. S. (1995). "La datació per radiocarboni i el calibratge de les dates radiocarbòniques. Objectius, problemes i aplicacions". *Revista d'Arqueologia de Ponent* 5: 260-275.
- MESTRES, J. S., i A. MARTÍN (1996). "Calibración de las fechas radiocarbónicas y su contribución al estudio del Neolítico catalán". *Rubricatum* 1(2): 791-804.
- MESTRES, J. S. (1996). Informe de datació tramès als usuaris del Laboratori de Datació per Radiocarboni de la Universitat de Barcelona. Universitat de Barcelona-Servei d'Arqueologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya.
- MIRÓ, J. M. (1994) "La cronologia del estils ceràmics a Catalunya i la datació de C-14 de la Timba del Barenys (Riudoms, Tarragona)". *Saguntum* 27: 57-66.
- MOLIST, M.; RIBÉ, G., i M. SANA (1996). "La transició del V milenio cal BC en Catalunya". *Rubricatum* 1(2): 781-790.
- ROZANSKI, K.; STICHLER, W.; GONFIANTINI, R.; SCOTT, E. M.; BEUKENS, R. P.; KROMER I J. VAN DER PLICHT, B. (1992). "¹⁴C Intercomparison Exercise 1990". *Radiocarbon* 34(3): 506-519.
- SCOTT, E. M.; COOK, G. T.; HARKNESS, D. D.; MILLER, B. F., i BAXTER, M. S. (1992). "Further Analysis of the International Intercomparison Study (ICS)". *Radiocarbon* 34(3): 520-527.
- STUIVER, M.; LONG, A., i KRA, R., EDITORS (1993). "Calibration Issue" *Radiocarbon* 35(1).
- STUIVER, M., i PEARSON, G. W. (1993). "High-Precision Bidecadal Calibration of The Radiocarbon Time Scale AD 1950-500 BC and 2500-6000 BC". *Radiocarbon* 35(1): 1-23.
- STUIVER, M., i REIMER, P. (1993). "Extended ¹⁴C Database and Revised CALIB Radiocarbon Calibration Program". *Radiocarbon* 35(1): 215-230.
- VAN DER PLICHT, J., i MOOK, W. G. (1989). "Calibration of Radiocarbon Ages by Computer". *Radiocarbon* 31(3): 805-816.