

MUNIBE (Antropología-Arkeologia)	nº 60	313-324	SAN SEBASTIÁN	2009	ISSN 1132-2217
----------------------------------	-------	---------	---------------	------	----------------

Recibido: 2009-10-05  
Aceptado: 2009-10-26

# Las dataciones radiocarbónicas de yacimientos de época histórica. Problemas y experiencias de análisis en contextos de época medieval

## Radiocarbon dating of historical time sites. Problems and analysis experiences in contexts from the medieval period

**PALABRAS CLAVES:** Escala temporal, Alta Edad Media, geocronología, Aistra, Iruña.

**KEY WORDS:** Temporal scale, early middle ages, geochronology, Aistra, Iruña.

**GAKO-HITZAK:** Denbora-eskala, Goi Erdi Aroa, geokronologia, Aistra, Iruña.

Juan Antonio QUIRÓS CASTILLO<sup>(1)</sup>

### RESUMEN

En este texto se discuten las implicaciones de naturaleza teórica que ha tenido el empleo sistemático de las dataciones radiocarbónicas a la hora de historiar registros materiales de carácter no monumental, como es la arqueología del campesinado.

Asimismo se analizan las diferentes escalas temporales que maneja la historia hecha con textos y la historia hecha con objetos y los problemas operativos y conceptuales que se derivan.

Por último se analiza el proceso de construcción del registro arqueológico en época histórica a partir del empleo de dataciones radiocarbónicas, reflexionando a la luz de nuestra propia experiencia sobre los protocolos de actuación (por qué datar, la selección de contextos, la selección de muestras, la interpretación). Se ponen algunos ejemplos de análisis que muestran toda la complejidad y la potencialidad de este instrumento, centrándonos concretamente en la datación de varias unidades domésticas altomedievales del yacimiento de Aistra.

### ABSTRACT

In this paper, the implications of theoretical nature arised from the systematic use of carbon-dating dates in studying material record of non-monumental character are discussed, as for example, the peasant archaeology.

Likewise, the different temporal scales used by the history made with texts and the history made with objects are analyzed, as well as the operative and conceptual problems arised from them.

Finally, it is analyzed the construction process of the archaeological record in historical time from the use of radiocarbonic dates, from our experience about the intervention protocols (why we need to date, the selection of contexts and samples, the interpretation). We propose some examples of analysis that show all the complexity and utility of this tool, focusing in the datation of several early medieval domestic units of the site of Aistra.

### LABURPENA

Testu honetan, datazio erradiokarbonikoen erabilera sistematikoak izaera monumentala ez duten erregistro materialak (hala nola nekazarien arkeologia) edestean izandako izaera teorikoko inplikazioak eztabaidatzen dira.

Horrez gain, testuekin egindako historiaren denbora-escalak eta objektuekin egindakoarenak aztertzen dira, bai eta horien erabilerearen ondorio diren arazo operatiboak eta kontzeptuzko arazoak ere.

Amaitzeko, erradiokarbono bidezko datazioen bitartez, garai historikoetako erregistro arkeologikoak berreraikitzeke erabiltzen den prozesua aztertzen da, eta hausnarketa hori egiteko, gure esperientzia hartu dugu abiapuntutzat (datazioak zergatik egin, testuinguruen hautaketa, laginen hautaketa, interpretazioa). Zenbait azterketari buruzko adibideei esker, lan-tresna horrek duen konplexutasuna eta garrantzia ulertu ahal izango ditu irakurleak. Adibide horiek jartzerakoan, Aistrako aztarnategiko Goi Erdi Aroko zenbait etxe-unitateren datazioa erabili dugu.

## 1- INTRODUCCIÓN

Hace pocas semanas teníamos noticia de que especialistas de las Universidades de Manchester y Edimburgo han desarrollado una nueva técnica

de datación de materiales arqueológicos inorgánicos denominada rehidroxilación (*rehydroxylation dating*), que permite datar materiales arqueológicos como la cerámica o los ladrillos con una pre-

<sup>(1)</sup>Grupo de Investigación en Arqueología Medieval y Postmedieval. Área de Arqueología. Universidad del País Vasco, C/ F. Tomás y Valiente s/m, 01006 Vitoria-Gasteiz, quiros.castillo@ehu.es. Trabajo realizado en el marco del proyecto de investigación HUM2006-02556/HIST financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia en el ámbito del Plan Nacional de I+D+I titulado "La génesis del paisaje medieval en el Norte Peninsular: Arqueología de las aldeas de los siglos V al XII".

cisión inferior al decenio en época histórica aunque podría aplicarse a los últimos diez mil años (Wilson et alii 2009).

Este es un ejemplo, que probablemente esté destinado a cambiar de forma muy significativa nuestra forma de fechar y construir el registro arqueológico, que demuestra cómo las innovaciones que se están produciendo en el campo de las técnicas de las dataciones son constantes, aunque no siempre alcanzan la base de la pirámide en la que trabajan de forma cotidiana legiones de arqueólogos.

También la técnica de datación del  $^{14}\text{C}$  ha evolucionado de manera notable en estos últimos cincuenta años. Varios autores como Colin Renfrew (2007) han definido al menos cuatro "revoluciones" en el uso del radiocarbono en arqueología: 1) la invención del método del radiocarbono hacia finales de los años 40; 2) la calibración de las dataciones  $^{14}\text{C}$  hacia finales de los 60 e inicios de los 70; 3) la introducción del espectrometría de masas con acelerador (AMS) a finales de los 70 y 4) el desarrollo de técnicas avanzadas en el procesado de los datos, como el empleo de la estadística Bayesiana entre los 80 y los 90 (Kuzmin 2009, 149-150; Bronk Ramsey 2008). Otros autores van más allá y sostienen que cada 15 años aproximadamente se produce una nueva renovación o revolución en el empleo del radiocarbono en arqueología (Bayliss 2009).

Hay más de cien laboratorios en el mundo que ofrecen este tipo de servicios, al menos cuatro de los cuales (Madrid, Barcelona, Granada y Sevilla) se ubican en España, y se cuenta con una amplia bibliografía especializada y de carácter más divulgativo, de tal manera que no se editan textos didácticos dedicados a la Arqueología en los que no se dediquen capítulos al  $^{14}\text{C}$ . Se acaba de celebrar la quinta conferencia internacional *Radiocarbon and Archaeology* (Lyon 1998; Oxford 2002; Zurich 2008), que se ha convertido en un punto de encuentro estable entre arqueólogos y especialistas en radiocarbono, en el que se presentan nuevas técnicas e instrumentos para la datación de contextos arqueológicos.

Con todo, tenemos la impresión de que la adopción sistemática de estos procedimientos no ha comportado en nuestro entorno una alfabetización por parte de los profesionales en el manejo crítico de estas técnicas (Gutiérrez Cuenca 2002, 99).

Se siguen utilizando y publicando dataciones sin calibrar, se considera que la calibración es una mera opción que se puede utilizar en el caso de que se quiera obtener una mayor precisión, o se interpreta la datación radiocarbónica como una fecha precisa referenciada al 1950, prescindiendo de las desviaciones estadísticas. En otras ocasiones se busca una resolución y una precisión de las dataciones radiocarbónicas que no se puede obtener. De esta manera, la arqueología de época histórica ha ido incorporando una serie de interpretaciones que pueden llegar a comprometer la entidad del discurso histórico o precisar de complejas tareas de deconstrucción en un futuro próximo.

Por otro lado, hasta hace, pongamos, unos diez o quince años, el uso de este instrumento podía ser más o menos puntual o moderado en la Arqueología de época histórica, donde supuestamente la disponibilidad de otros indicadores cronológicos (textos, tipologías, epígrafes, etc.) podía proporcionar fechas válidas. Pero en los últimos años su uso se ha multiplicado de forma exponencial, de tal manera que la realización de dataciones es una partida fija en cualquier presupuesto de cualquier intervención arqueológica de carácter comercial o de cualquier proyecto de investigación arqueológica. Se están invirtiendo recursos de forma sistemática para datar contextos arqueológicos para los que no contamos (o empezamos ahora a contar) con indicadores cronológicos artefactuales (p.e. Alta Edad Media, pero también el período postmedieval), o tipos de yacimientos (p.e. ocupaciones de montaña o centros artesanales) que raramente proporcionan residuos que puedan ser catalogados por los arqueólogos. Podríamos hablar, por lo tanto, de una verdadera "crisis de crecimiento", por lo que creemos que es necesario reflexionar de forma amplia sobre los protocolos de intervención, los problemas interpretativos, los límites y la potencialidad de las dataciones radiocarbónicas y sobre el diálogo entre disciplinas que comporta el uso masivo de las dataciones radiocarbónicas.

Dividiré mi texto en dos partes principales: trataré en primer lugar el problema del uso que se hace de las escalas temporales en el estudio de los períodos históricos, haciendo referencia a casos de estudio del período medieval; a continuación analizaré la cuestión de las dataciones radiocarbónicas en el marco del proceso de construcción del registro arqueológico.

Pero de forma previa querría señalar que el empleo de un determinado recurso técnico en la construcción del registro arqueológico es mucho más que una mera decisión de carácter operativa, ya que tiene trascendencia a un nivel más amplio de carácter epistemológico.

De la misma manera que el empleo del radio-carbono en los contextos prehistóricos ha comportado el fin de las interpretaciones de carácter difusionista al verificar la incoherencia cronológica de determinados planteamientos (Renfrew 2007), su uso también ha tenido efectos muy notables en términos teóricos en la Arqueología Histórica.

Uno de los ejemplos más recientes es el desarrollo de una arqueología del paisaje desde la perspectiva del campesinado. Frente a una tradición monumentalista que ha sido dominante hasta hace muchos años en la arqueología histórica, el recurso a las dataciones  $^{14}\text{C}$  ha dotado de profundidad histórica a los espacios campesinos, mudos o ignorados hasta hace una decena de años en el caso de España. Tanto la arqueología de las aldeas medievales como la arqueología agraria han sido construidas a partir del empleo de dataciones de ecofactos de distinta naturaleza, que han permitido sistematizar las cerámicas "comunes", datar terrazas o comprender los sistemas de almacenaje familiar articulados en silos (Quirós Castillo, Vigil Escalera 2007).

No quiere esto decir, obviamente, que las dataciones  $^{14}\text{C}$  no hayan tenido un papel muy relevante también en el análisis de contextos de carácter monumental de época histórica. Los proyectos realizados en torno a iglesias altomedievales son un buen ejemplo de ello (Caballero 2004). Pero en el caso de la arqueología del campesinado han constituido una base, carente hasta el momento de alternativas, en el seno de una estrategia más global de acercamiento al registro material.

## 2- LAS ESCALAS DEL TIEMPO EN LA HISTORIA

Los historiadores que trabajan con textos escritos pueden utilizar escalas temporales muy precisas. Muchos epígrafes o textos romanos se pueden datar en un determinado año en función de las fechas consulares. Los autores que trabajan con cartularios y registros escritos medievales o modernos cuentan con textos redactados en un día concreto. Por este motivo, los historiadores que trabajan en estos periodos definen procesos delimitados por años concretos.

En cambio, los arqueólogos utilizan normalmente otras escalas temporales debido a la propia naturaleza de los objetos analizados o al estado de los estudios realizados sobre estos objetos. Así por ejemplo, algunas cerámicas romanas se pueden fechar con una precisión decenal o generacional. Incluso algunos sellos de ladrillos romanos incluyen fechas consulares (y pueden ser datados en un año concreto), y lo mismo sucede con los objetos narrados (como los epígrafes). Pero con las cerámicas medievales, por ejemplo, resulta difícil contar con una precisión inferior al medio siglo. Esta diferencia tiene que ver con el hecho de que contamos con una larga tradición de arqueología romana (Bernal, Riera 2008), respecto a los recientes o recientísimos estudios sobre la cerámica medieval (p.e. Alba, Gutiérrez 2008). Pero también hay que tener en cuenta que los sistemas de producción, distribución y consumo de la cerámica fueron muy distintos en ambos periodos. Una producción masiva realizada en pocos centros altamente especializados y muy estandarizada se presta a una mejor sistematización y reconocimiento que las cerámicas medievales producidas a una escala mucho más reducida, y que cuentan con numerosas variaciones que dificultan notablemente la sistematización y la detección de las diferentes fábricas. Mientras que en la construcción de las cronologías y las tipologías de la cerámica romana han podido colaborar y participar equipos muy diferentes, en el caso del estudio de la cerámica medieval es necesario partir cada vez desde cero, analizando territorios relativamente pequeños y obteniendo cronotipologías de alcance limitado.

Por este motivo, los procesos que estudian los arqueólogos pueden ser definidos con frecuencia a escalas cronológicas amplias, por lo que no siempre se ajustan a las expectativas planteadas por una historiografía que ya ha creado sus propios paradigmas e interroga al registro material en busca de informaciones imposibles.

Como es obvio, esta dualidad en las escalas temporales que manejan los historiadores de las palabras y de las cosas suele traducirse en incomprensiones mutuas o incluso en conflictos. Los primeros reclaman insistentemente dataciones absolutas que puedan ser comprensibles y asimilables en su *modus operandi*. Un caso significativo de esta incomprensión de las escalas temporales, y en general de los procedimientos de

construcción de los registros arqueológicos nos la ofrece el medievalista francés Alain Guerreau cuando, recientemente señalaba:

*“Por esta razón, es primordial convencer a los responsables de los yacimientos para que dediquen la máxima atención y tiempo posible a todos los procedimientos de datación absoluta, sabiendo que el método de las tipologías no es más que un sucedáneo, en el mejor de los casos incierto y frecuentemente peligroso. Una buena utilización del <sup>14</sup>C tiene infinitamente más valor que una construcción sofisticada basada en estratigrafías y tipologías. En caso de contradicción, este método no admite duda”* (Guerreau 2002, 113-114).

Por su parte, los historiadores que utilizan las fuentes materiales se esfuerzan en alcanzar cada vez mayor precisión, bien a través del reconocimiento en los registros materiales de acontecimientos conocidos a través de los textos, bien a través del recurso a instrumentos de datación como el <sup>14</sup>C. La búsqueda de una datación precisa, por otro lado, no es únicamente una forma de afinar fechas, sino que también tiene consecuencias a la hora de crear instrumentos de datación y de secuenciar el relato histórico que se infiere del registro material.

Algunos arqueólogos han planteado de forma explícita como la escala temporal de la arqueología no es como la de otras ciencias sociales que operan con procesos de corta duración (Shanks, Tilley 1997, 121). Y esta diferencia no reside únicamente en una cuestión de precisión. M. Shanks y C. Tilley han señalado que la Arqueología tiene mayor capacidad a la hora de analizar procesos de larga duración más que a la hora de acercarnos a procesos sociales de corta duración (*short-term*).

Con todo, el postprocesualismo ha pretendido valorizar y buscar las individualidades en el registro arqueológico (Hodder 1994, 21). En los casos excepcionales en los que podemos contar con indicadores tan precisos como puede ser la dendrocronología o testimonios escritos, por ejemplo, se ha podido observar que en ocasiones se puede reconocer arqueológicamente la acción individual. Aunque sólo sea la acción de unos pocos: las élites (Hodges 1995). De hecho la arqueología histórica norteamericana ha prestado una atención especial a la creación de biografías arqueológicas individuales de aquéllas personalidades que cuentan con una adecuada visibilidad en las fuentes (Lucas 2006).

Pero en el fondo de estos planteamientos tan distintos no sólo se plantea un reto técnico o de precisión a la hora de reconocer hechos concretos y personas mencionadas en textos escritos. El debate tiene otro alcance cuando en realidad lo enfocamos desde otra perspectiva de carácter epistemológica: ¿qué papel atribuimos a las élites y a los individuos concretos en la explicación del cambio histórico? R. Hodges, argumentando precisamente la posibilidad de hacer una arqueología de los “grandes hombres” en la Alta Edad Media lo formulaba explícitamente en estos términos: “La moderna archeologia non ha bisogno di autolimitarsi alla storia socio-economica. Essa ha a sua disposizione le possibilità per contribuire alla riscrittura della storia d’Europa” (Hodges 1995, 59). Aunque, como ha señalado Daniele Manacorda, para buscar las huellas de los potentes hay que recurrir preferiblemente al análisis de “il lavoro e le fatiche di chi, per conto loro, trasformò la materia, costruì, distrusse, modificò il paesaggio...dietro le fatiche di molti si cela spesso la volontà di pochi” (Manacorda 2008, 159)

Esta contraposición teórica se puede ejemplificar en el estudio del fenómeno de la fundación de las villas reales en la Edad Media en el País Vasco. La historiografía dominante incide sobre el peso que han tenido los distintos monarcas a la hora de fundar estas villas con el fin de promover actividades económicas, defender fronteras o activar determinadas formas de dominio territorial (p.e. González Minguez 2004). La investigación arqueológica incide en procesos de larga duración poniendo el acento en la emergencia de aldeas jerarquizadas y dotadas de una estructura económica y urbanística compleja que la monarquía connota en términos de redes de villas reales en su propio beneficio (Quirós Castillo, Bengoetxea 2004).

Por otro lado, ¿merece la pena sincronizar en términos de precisión las dos escalas temporales teniendo en cuenta el riesgo de que se (re)establezca una relación de tipo ancilar entre dos hermanas celosas, la Historia y la Arqueología, tal y como las ha definido Paolo Delogu? Esta dependencia ancilar se podría establecer a un doble nivel: buscar en los restos materiales la confirmación de lo observado o intuido en los testimonios escritos, o bien interpretar y dar sentido a los objetos inanimados o a hallazgos sorprendentes a la luz de acontecimientos que han

quedado transmitidos en los textos. La arqueología de época histórica está plagada de este tipo de ejemplos, y no siempre ha resuelto de forma satisfactoria en términos teóricos cómo manejar ambos registros informativos.

Así por ejemplo, la datación de las fortificaciones del Homón de Faro (Aller) o del Muro (Somiedo) en Asturias entre finales del siglo VII y mediados del siglo VIII ha dado pie a que se formularan dos escenarios interpretativos posibles: la revuelta de los astures durante el reinado de Wamba hacia el 680, o la ocupación islámica hacia el 713-714 (Camino et alii 2007a, 60-61). Sin entrar en el mérito de estas valoraciones y teniendo en cuenta que la calibración de las dataciones radiocarbónicas de ambos yacimientos hace plausible el empleo de estos sistemas defensivos en cualquier período comprendido entre mediados del siglo VII y mediados del siglo VIII (Camino et alii 2007b, 251), desde nuestro punto de vista sería un problema muy serio que la interpretación de estas nuevas evidencias arqueológicas quedase encerrada en las menciones textuales, sin valorar otros escenarios a los que nos llevarían el análisis global de otros yacimientos fortificados de la segunda mitad del siglo VII que se están estudiando en los últimos años en el Norte Peninsular (p.e. Castillo de Los Monjes).

Desde un punto de vista estrictamente teórico, R. Francovich se pronunció de forma categórica sobre la necesidad de que la Historia y la Arqueología caminasen de forma separada a la hora de construir sus registros informativos, "piuttosto che proporre occasionali e approssimate interpolazioni fra frammentarie fonti di diversa tipologia: la sintesi si potrà raggiungere quando il quadro sarà più omogeneamente definito" (Francovich 2004, 351).

Con todo, y frente a las escalas temporales manejadas por los arqueólogos que raramente se pueden expresar en términos de años solares concretos, el recurso a técnicas de datación como el  $^{14}\text{C}$  permite, a priori, acercar la resolución de los procesos arqueológicos a las expectativas de los historiadores. De ahí la insistente atención que prestan los historiadores a estas técnicas. No obstante, las experiencias realizadas en los últimos años nos dicen que la construcción del registro arqueológico tiene sus reglas y sus presupuestos metodológicos. Las dataciones  $^{14}\text{C}$  o cualquier otro tipo de instrumento cronológico no pueden

ser empleados como un atajo para obtener fechas de un determinado yacimiento sin ser analizado siguiendo estos protocolos. De la misma manera que el hallazgo de una sigillata en un yacimiento no establece necesariamente que estemos en presencia de una ocupación de época romana, las fechas  $^{14}\text{C}$  son significativas en el seno de una determinada secuencia y en una serie de contextos estratigráficos. Y, contradiciendo a Alain Guerreau, mientras que podemos estar permanentemente abiertos a relativizar las dataciones absolutas, nunca deberemos cuestionar las dataciones relativas, presupuesto indispensable sobre el que construir el registro arqueológico.

### 3- LA CONSTRUCCIÓN DEL REGISTRO ARQUEOLÓGICO Y LAS DATACIONES $^{14}\text{C}$

El registro arqueológico es una construcción realizada a partir de la aplicación de una serie de procedimientos y protocolos consensuados, pero también del empleo de una serie de planteamientos teóricos que determinan qué excavar, cómo hacerlo y cómo interpretar los objetos y las informaciones obtenidas (Carver 1991). La diferencia entre estratificación (el depósito existente) y la estratigrafía (la lectura realizada por el arqueólogo aplicando estos protocolos desde determinados planteamientos teóricos) introducida por A. Carandini (1997) ilustra perfectamente el carácter construido del registro arqueológico.

La datación de un yacimiento mediante el uso del  $^{14}\text{C}$  comporta la aplicación de un protocolo de actuación, cuyo uso de forma crítica y reflexiva condiciona de forma decisiva la interpretación y el uso de esta información en el proceso de construcción del registro arqueológico.

En esta ocasión analizaremos tres procesos principales de este protocolo en los que participa el arqueólogo, para valorar críticamente desde nuestra propia experiencia y a la luz de trabajos recientes su incidencia en los resultados finales.

#### 3.1 Por qué datar

La primera decisión que hay que tomar, aunque parezca banal, es por qué es preciso datar mediante el uso del radiocarbono un determinado sitio.

En principio, tal y como hemos señalado en otra ocasión (Quirós Castillo 1996), el uso de un procedimiento de datación de un sitio arqueológico ha de

insertarse en una estrategia global que tenga como fin resolver problemas previamente planteados, pero también contrastar las distintas informaciones cronológicas disponibles para comprender la precisión que se puede alcanzar. El uso, por lo tanto, de las dataciones radiocarbónicas de muestras concretas no puede eximirnos de un análisis contrastado de la secuencia estratigráfica, los procesos formativos de los depósitos o unidades arqueológicas y una valoración crítica de los distintos indicadores arqueológicos disponibles.

Si esta es la teoría, hay que tener en cuenta que seguimos dando más crédito a la hora de establecer la cronología de un yacimiento a la datación radiométrica, independientemente del contexto de donde proceda, que por ejemplo, al hallazgo de determinados materiales. Esto se debe, probablemente, a que somos más conscientes de los problemas que supone la datación a partir de materiales cerámicos, por ejemplo.

Por otro lado, una economía de recursos debería orientarnos igualmente a emplear las dataciones radiocarbónicas como sólidas bases sobre las que construir instrumentos de datación de ámbito local, regional o subregional, tal y cómo hemos planteado en otras ocasiones. Una estrategia de este tipo tendría en la arqueología del período altomedieval efectos muy relevantes a medio y largo plazo.

## 3.2. Qué muestra datamos

### 3.2.1. Qué datamos

Una primera consideración importante que deberemos tener en cuenta es que mediante los instrumentos de datación basados en relojes naturales estamos datando objetos, no contextos ni yacimientos.

Por lo tanto, el primer paso necesario para interpretar el significado de la datación obtenida es comprender el contexto estratigráfico del que procede la muestra que se pretende analizar. La calidad de los contextos puede medirse en función de su ubicación precisa en una secuencia estratigráfica (es decir, la comprensión de las relaciones estratigráficas) y la naturaleza de los depósitos (es decir, la comprensión de los procesos formativos).

Un aspecto básico, que quizás ha sido minusvalorado en una praxis que prioriza sustancialmente la detección de las relaciones estratigráficas, sería la comprensión de los procesos formativos de

los depósitos arqueológicos. La Nueva Arqueología incidió de forma sistemática en la detección y análisis de los denominados procesos postdeposicionales, que desde entonces han sido analizados de forma sistemática a la hora de valorar la integridad de los depósitos conservados hasta nuestros días y las modificaciones que han tenido lugar.

En cambio, se han dado por supuesto los procesos de carácter cultural (Schiffer 1986, 7), que como máximo habrían de considerarse como una "interpretación" del registro (Parise Badoni, Ruggeri 1983, 15). De hecho, es frecuente que en el registro normalizado de las unidades de excavación se caractericen los depósitos simplemente como unidades positivas (de aportación) o negativas (de asportación), (Caradini 1997), verticales u horizontales (Harris 1991, 74-77), sin profundizar en el conocimiento de los procesos lógicos que han construido la estratificación.

Desde nuestra experiencia podemos concluir que la imprecisa identificación e interpretación de la naturaleza de un depósito puede condicionar de forma definitiva el significado y la utilización de una datación <sup>14</sup>C.

Un caso reciente que hemos analizado se refiere al de la tristemente célebre ciudad romana de Iruña (Álava). Como es notorio, en el marco de un proyecto arqueológico realizado en los últimos años se produjo el hallazgo de una serie de materiales arqueológicos de época romana esgrafitados que conmocionaron la opinión pública y los medios académicos por los contenidos de los textos. Sin querer, como es lógico, entrar ahora a hacer una valoración del caso concreto, fue preciso revisar críticamente los contextos arqueológicos en los que aparecieron estos grafitos.

Más concretamente el conjunto de grafitos más numeroso y significativo se halló en la denominada UE 51154, situada en el recinto 59, sector 5. En la documentación de la excavación esta unidad se definió como un derrumbe de las estructuras de alzado (Fillooy Nieva, Gil Zubillaga 2007, 42, 52). Los arqueólogos fecharon esta unidad en la segunda mitad del siglo III d.C. (idem, p. 53) y se realizaron cuatro dataciones radiocarbónicas diferentes en esta UE. Las cuatro dataciones presentan fechas muy diferentes entre sí (tabla 1).

Ante el conflicto planteado sobre la autenticidad de las piezas se pidieron insistentemente nuevas dataciones radiométricas para compren-

DATA BP	OXCAL 2 SIGMAS	DATACIÓN PROPUESTA
1925±15 BP	21-126 AD 91,1 %	
1820±60 BP	65-348 AD 94,9 %	130 d C
1940±40 BP	45-136 AD 95,4 %	10 d C
1905±30 BP	25-177 AD 92,3 %	45 d C

Tabla 1. Dataciones radiocarbónicas de la UE 51144 de Iruña Veleia (según E. Gil Zubillaga e I. Filloy).

der mejor la cronología del contexto. Un análisis del contexto, donde se hallaron 9000 fragmentos de cerámica, 9000 fragmentos de fauna y otros materiales arqueológicos abundantes, permitió excluir completamente que se tratase de un derrumbe, por lo que sería más probable que se tratase de un relleno, quizás de carácter constructivo (Filloy Nieva, Gil Zubillaga 2007). Más allá del principio que establece que la cronología de un determinado contexto la ofrece el material más reciente, en el seno de una estrategia reflexiva de datación la identificación de esta unidad como un relleno probablemente habría comportado que se datasen mediante el radiocarbono las unidades posteriores y/o anteriores en la secuencia estratigráfica para poder cruzar los datos de la secuencia con las medidas radiométricas.

Otro caso muy diferente, y con el que operamos de forma cotidiana, son los registros rurales de tipo campesino, caracterizados por una baja intensidad ocupacional y por un predominio de estructuras en negativo. Estos sitios han sido definidos recientemente como "yacimientos sin estratigrafía" (Aboal et alii 2005) para hacer referencia a la casi total carencia de estratigrafías verticales (estratigrafía horizontal dispersa frente a potencia estratigráfica vertical) y al predominio de depósitos de origen secundario utilizados en la amortización de los silos, agujeros de poste, zanjas y otras estructuras negativas que configuran estos yacimientos (fig. 1).

En este caso, cada depósito secundario de relleno de estas unidades negativas ha de ser estudiado como un contexto único y raramente se presta a ser datado cruzando los datos de las secuencias estratigráficas y las fechas radiométricas. Por otro lado, es muy relevante entender que los depósitos que excavamos son de amortización y que este es el caso de los destinados preferentemente al almacenaje de cereales y leguminosas a largo plazo, puede haber una diferencia cronológica muy relevante entre el momento de su realización y de su abandono. En cambio, los agu-



Fig. 1. Ejemplo de "yacimiento sin estratigrafía". Ocupación altomedieval de Zornoztegi (Salavtierra Agurain, Alava).

jeros de poste pueden tener períodos de amortización relativamente más breves (1-2 generaciones) en función de sus técnicas constructivas y las formas de apropiación y gestión del espacio.

En síntesis, es a partir de la comprensión de la secuencia y los procesos formativos cuando podremos seleccionar y elegir qué contextos datar en el marco de una estrategia amplia que permita cruzar los datos de las dataciones con los de la estratigrafía.

### 3.2.2. Tratamiento y la selección de las muestras

La elección de los materiales orgánicos que sean útiles para poder datar un contexto requiere, a su vez, conocer la potencialidad o la representatividad y significado de los distintos materiales.

En el caso, por ejemplo, del empleo de maderas carbonizas o de maderas conservadas, hay que tener en cuenta que la mayor parte de la madera que podemos encontrar en un yacimiento arqueológico ha sido utilizada como material constructivo, como mobiliario, vajilla y otros usos domésticos, o como leña.

Sabemos que en particular el material constructivo (postes, vigas, tirantes, etc.) de madera puede tener una larga duración. Uno de los casos mejor estudiados en España es el realizado en la iglesia de San Pedro de la Nave bajo la dirección de Luis Caballero (fig. 2). Como resultado del desmontaje y remontaje de este edificio altomedieval en los años 30 se conservaron en varios museos vigas y grapas de madera utilizadas para unir los sillares de la iglesia. En el marco del debate sobre la cronología de las iglesias altomedievales mese-



Fig. 2. Iglesia altomedieval de San Pedro de la Nave (Zamora).

teñas se pudo verificar mediante el empleo cruzado de dataciones radiométricas y dendrocronológicas que la viga(s) había sido reutilizada de una construcción romana. Y lo mismo se pudo observar en el caso de San Juan de Baños (Palencia), donde se dató una segunda viga. En cambio, las grapas, realizadas probablemente en el momento de la realización del edificio, fueron datadas en la segunda mitad del siglo VII (Rubinos 1999; Alonso et alii 2004).

Este problema de la reutilización de la madera o de la larga duración (Schiffer lo ha denominado el efecto *old wood*) tiene una amplia incidencia en zonas secas o desérticas, donde la buena conservación de la madera alcanza períodos muy amplios (Schiffer 1986).

El protocolo que estamos utilizando en nuestro caso es el de individualizar, mediante la flotación en húmedo de los depósitos arqueológicos, semillas (que deberían de tener un ciclo de producción y consumo corto) o carbones de vida corta que puedan corresponderse con leña, igualmente de consumo corto, frente a los materiales constructivos<sup>1</sup>.

En investigaciones recientes se ha planteado la posibilidad de mejorar la coherencia entre materiales y contextos mediante la datación de materiales orgánicos bien contextualizados. Elisabetta Boaretto (2009) ha señalado la utilidad de datar los morteros de los paramentos a partir del proceso del apagado de la cal, los fitolitos contenidos en los niveles de ocupación doméstica o los residuos orgánicos presentes en cerámi-

cas y otros objetos inorgánicos de los que podamos tener certeza de su ubicación contextual.

En síntesis, es muy relevante a la hora de realizar la interpretación de los resultados de las dataciones radiométricas ser conscientes de la naturaleza de la muestra analizada, para que el establecimiento de la cronología del contexto y de la secuencia a partir de objetos concretos no esté condicionada por procesos de reutilización.

### 3.3 Cómo interpretamos

La formación humanística en la Universidad española tiene un carácter preferentemente monodisciplinar, lo que en áreas disciplinares como la arqueología tiene efectos muy negativos. La dificultad para relacionarse con otras ciencias y disciplinas -especialmente con las naturales- es muy grande, lo que termina por convertirse en un desencuentro o en un complejo de inferioridad muy acusado. Las palabras, que al final siempre traicionan, son muy significativas. La arqueología histórica prefiere utilizar el término de analíticas frente al de arqueometría, que se ha consolidado en el ámbito anglosajón como una noción que engloba un campo de construcción interdisciplinar en el que coparticipan disciplinas naturales y humanísticas. Esta inercia explica como es frecuente que las "analíticas" sean apéndices, apenas discutidos o interpretados en las memorias de la excavación, y que el valor intrínseco de una datación <sup>14</sup>C, por ejemplo, no precise ninguna interpretación o discusión específica.

Pero si algo hemos desarrollado en nuestra experiencia es la importancia que tiene en la construcción del registro arqueológico ser capaz de establecer un diálogo entre disciplinas para lograr realizar una interpretación adecuada de registros como los bioarqueológicos, los geoarqueológicos o las dataciones entre otros. Y ello comporta el conocimiento de algunos aspectos básicos de la metodología de trabajo de las otras disciplinas y de las lógicas internas a partir de las cuales construyen sus conclusiones.

<sup>1</sup> Agradecemos a Lydia Zapata, del Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología de la Universidad del País Vasco, sus indicaciones a la hora de diseñar esta estrategia de muestreo.



Como hemos señalado con anterioridad, datar un objeto, sea este una moneda o un artefacto (orgánico o inorgánico), no es lo mismo que fechar un contexto arqueológico. Pero además, una fecha radiocarbónica no es más que una distribución de probabilidad en la escala calendárica (Christen 2009, 94) resultado del propio protocolo de datación y de la calibración.

Una vez que se ha asumido que una datación radiocarbónica, una vez transformada en años solares, no es más que uno o varios intervalos cronológicos con un determinado margen de fiabilidad, resulta evidente que no es siempre posible obtener cronologías que sean compatibles con la fiabilidad esperable en periodos históricos.

Más concretamente, cuando contamos con **dataciones aisladas de contextos**, bien porque se han realizado pocas medidas en el conjunto de la secuencia o porque trabajamos en "yacimientos sin estratigrafía", el resultado y la resolución cronológica obtenida va a estar muy condicionada por el proceso de calibración.

La curva de calibración, que en principio marca las variaciones existentes entre los años radiocarbónicos y los años solares, no tiene un recorrido lineal, sino que en determinados periodos críticos la producción atmosférica de  $^{14}\text{C}$  ha sido tan elevada que algunos años no son visibles (Pettitt 2005, p. 68-69).

En los siglos V, VIII, XI o XIV las dataciones radiocarbónicas no permiten establecer fechas con una precisión inferior a las 3-5 generaciones, a diferencia de lo que sucede por ejemplo con el siglo VI. Hay que notar, además, que estos periodos cronológicos tienen una relevancia histórica fundamental en la historia social de la Edad Media. De hecho, en ocasiones hemos retrodatado procesos históricos recurriendo a dataciones radiocarbónicas eligiendo únicamente la fecha más antigua de un intervalo de probabilidad.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, es importante saber que en determinados periodos históricos la precisión del  $^{14}\text{C}$  no es adecuada para resolver un determinado problema histórico<sup>2</sup>.

Tendremos muchas más posibilidades de obtener medidas más precisas cuando contemos

con varias medidas en el marco de una secuencia estratigráfica compleja. En este caso será posible desarrollar **modelos de análisis estadísticos complejos** que incluyan no solamente las dataciones radiocarbónicas, sino también otros indicadores arqueológicos y cronológicos, empezando por las relaciones estratigráficas.

La aplicación de la estadística bayesiana consiste en realizar un modelo matemático que establezca la relación existente entre los objetos fechados y los contextos analizados (Christen 2004, 89) tomando en consideración nuestro conocimiento sobre los procesos estratigráficos, las informaciones proporcionadas por los materiales arqueológicos y los resultados de las dataciones radiocarbónicas. De esta manera es posible reducir y corregir los márgenes de probabilidad, obteniendo dataciones más precisas (Bayliss 2009).

El uso de estas técnicas de análisis en contextos de época histórica en España o Italia ha sido más bien reducido, debiendo mencionarse nuevamente los estudios de las iglesias de Melque o San Pedro de la Nave liderados por Luis Caballero (Rubinos 1999; Alonso 2004).

En otras tradiciones académicas, como la británica, desde los años 90 su uso es masivo en arqueología. En una reciente síntesis realizada por Alex Bayliss (2009, 134) se especifica como en el periodo comprendido entre los años 1993-2007 el English Heritage ha realizado más de 3000 análisis radiocarbónicos, y en un 73 % de los casos se ha recurrido a su tratamiento mediante la estadística bayesiana.

Uno de los casos más recientes en el que hemos podido aplicar este tipo de tratamiento de datos ha sido en el caso del despoblado de Aistra (Zalduondo). Se trata de una aldea alto-medieval fundada hacia mediados del siglo V y que sufrió una transformación muy relevante hacia el 700 ca. Esta transformación de la aldea se ha podido estudiar en un sector concreto de excavación en el que se observó como un fondo de cabaña o Grubenhäuser de la primera fase dotado de una estructura sobre postes, fue amortizado mediante la realización de un relleno masivo, y encima se construyó una cabaña

<sup>2</sup> Igualmente la horizontalidad de la curva de calibración entre los años 800-400 a. C., por ejemplo, determina que la datación de los contextos de este periodo sea muy problemática (Alonso 2002, p. 340), lo que ha dado lugar a interpretaciones históricas que ahora mismo se están poniendo en discusión.

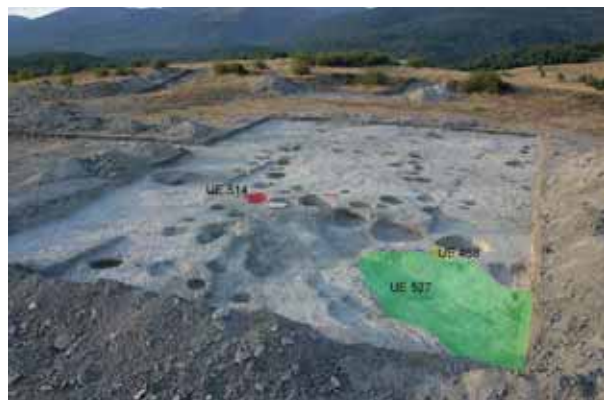


Fig. 3. Cabañas altomedievales del despoblado altomedieval de Aistra (Zalduondo, Álava)

	1 SIGMA		2 SIGMAS	
	Ue 527	680	860	680
Ue 514	675	770	650	860
Ue 524	680	810	670	880
@527	685	735	665	770
@514	710	775	680	820
@524	750	870	720	890
amortización cabaña 1: 685-710 665-680				
amortización cabaña 2: 710-755 680-720				

Tabla II. Dataciones radiocarbónicas del despoblado altomedieval de Aistra (Zalduondo, Álava).

sobre postes (fig. 3, tabla 2). Para datar esta transformación se han realizado tres medidas radiocarbónicas: en el poste del fondo de cabaña (ue 468); en el relleno de amortización de la cabaña (ue 527) y en uno de los postes de la nueva construcción (ue 514). Existe una contradicción aparente entre las fechas radiocarbónicas y la secuencia estratigráfica, ya que el proceso de amortización del fondo de cabaña ( $1241 \pm 32$ ) es más moderno que la amortización del agujero de poste de la construcción realizada tras la amortización de la cabaña ( $1283 \pm 38$ ). Esta distorsión ha de explicarse teniendo en cuenta que, como hemos señalado previamente, las dataciones aisladas de contextos de finales del siglo VII y el siglo VIII presentan notables problemas de calibración debido a la morfología de la propia curva (fig. 4).

A través de un análisis estadístico que ha integrado ambas informaciones se ha logrado aumentar la precisión de la calibración de las dataciones dentro de un modelo que permite proponer que el abandono del fondo de la cabaña tuvo lugar hacia el 665-680 y la amortización del primer poste analizado hacia el 680-720.

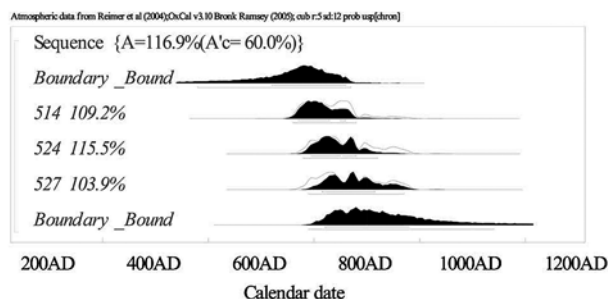


Fig. 4. Calibración de las series de cabañas del despoblado altomedieval de Aistra (Zalduondo, Álava).

#### 4- VALORACIONES FINALES

1. La datación de un yacimiento, un edificio o cualquier sitio arqueológico requiere de una verdadera estrategia basada en el análisis estratigráfico y en el reconocimiento de los nudos estratigráficos (Carandini 1997), en la que se utilicen de forma combinada varios indicadores cronológicos que permitan confrontar y afinar de forma recíproca las informaciones que obtenemos de forma aislada.

2. En la datación de contextos individuales, un fenómeno común en los que hemos denominado "yacimientos sin estratigrafía", hay determinados momentos críticos en los que la curva de calibración no permite proporcionar precisiones inferiores a los 100-150 años o incluso más. En todo caso, es preferible orientarse hacia la datación de secuencia completas, más que de contextos concretos o de piezas descontextualizadas, recurriendo a procedimientos de análisis como la estadística bayesiana.

3. En todo caso, debemos tener en cuenta que la resolución y la escala temporal que manejamos en la arqueología histórica no puede, a fecha de hoy, acercarse en todos los casos a la escala temporal que se obtiene a través del uso de testimonios escritos. Especialmente si datamos contextos aislados.

4. Un último aspecto fundamental que hay que señalar es que el diálogo entre arqueólogos y laboratorios es seguramente básico para resolver muchos de los problemas que plantea el recurso a esta técnica de datación. La interpretación de las dataciones  $^{14}\text{C}$  no se puede delegar en los laboratorios descartando aquellas medidas que no se ajusten a nuestro modelo de análisis bajo el paraguas de la contaminación de la muestra. La construcción del registro arqueológico denso y complejo precisa de una coparticipación inter o transdis-

ciplinar que, en pocos casos como el de las dataciones radiocarbónicas, hace necesario el establecimiento de este diálogo cruzado.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

- ABOAL FERNÁNDEZ, R., AYÁN VILA, X., CRIADO BOADO, F., PRIETO MARTÍNEZ, M. P., TABARÉS DOMÍNGUEZ, M.  
2005 Yacimientos sin estratigrafía: Devesa do Rei, ¿un sitio cultural de la Prehistoria Reciente y la Protohistoria de Galicia?, *Trabajos de Prehistoria* 62 (2), 165-180.
- ALBA CALZADO, M., GUTIÉRREZ LLORET, S.  
2008 Las producciones de transición al Mundo Islámico: el problema de la cerámica paleoandalusi (siglos VIII y IX), en D. Bernal Casasola, A. Riera i Lacomba (eds.), *Cerámicas hispanorromanas. Un estado de la cuestión*, Cádiz, 585-613.
- ALONSO MATTHIAS F.  
2002 Fechas de carbono-14 en los castros asturianos, en M. A. Blas Cortina, A. Villa Valdés, *Los poblados fortificados del noroeste de la Península Ibérica: formación y desarrollo de la cultura castreña*, Navia, pp. 337-344.
- ALONSO MATHIAS, F., CABALLERO ZOREDA, L., RODRÍGUEZ TROBAJO, E.  
1998 Datación de una viga de la iglesia de San Pedro de la Nave (Zamora), *Archivo español de arqueología*, 71, 283-294.
- ALONSO MATTHÍAS, F., RODRÍGUEZ TROBAJO, E., RUBINOS PÉREZ, A.  
2004 La datación de madera constructiva en San Pedro de la Nave (Zamora) y su interdatación con San Juan de Baños (Palencia), en L. Caballero, *La iglesia de San Pedro de la Nave*, Zamora, 209-237.
- BAHN, P., RENFREW, C.  
2001 *Archaeology. Theories, Methods and Practice*, Thames & Hudson, London.
- BAYLISS, A.  
2009 Out Revolution: Using Radiocarbon Dating in Archaeology, *Radiocarbon* 51 (1), 123-147.
- BERNAL CASASOLA, A. RIERA I LACOMBA (EDS.)  
2008 *Cerámicas hispanorromanas. Un estado de la cuestión*, Cádiz.
- BOARETTO, E.  
2009 Dating materials in good archaeological contexts: the next Challenge for radiocarbon análisis, *Radiocarbon* 51 (1), 275-281.
- BRONK RAMSEY, C.  
2008 Radiocarbon dating: revolutions in understanding, *Archaeometry* 50 (2), 249-275.
- BUCK, C. E., CAVANAGH, W. G., LITTON, C. D.  
1996 *The Bayesian Approach to Interpreting Archaeological Data*, Wiley, Chichester.
- CAMINO MAYOR J., ESTRADA GARCÍA R., VINIEGRA PACHECO Y.  
2007a A propósito de las fortificaciones lineales ástures de El Homón de Faro (La Carisa) y el Muro (La Mesa)', *Territorio, Sociedad y Poder* 2, pp. 53-64.  
2007b Un sistema de fortificaciones lineales ástures en la Cordillera Cantábrica a finales del Reino Visigodo, *Boletín de Arqueología Medieval* 13, pp. 229-256.
- CARANDINI A.  
1997 *Historias en la tierra. Manual de excavación arqueológica*, ed. Crítica, Barcelona.
- CHRISTEN, J. A.  
2004 Interpretación estadística de fechamientos radiocarbónicos, en R. B. Ramos, J. R. Martínez, P. Miramontes (coord.), *Las matemáticas y su entorno*, siglo XXI, Madrid, 89-115.
- FILLOY NIEVA I., GIL ZUBILLAGA E.  
2007 *Conjunto Arqueológico de Iruña-Veleia (Trespuentes-Villodas, Iruña de Oca, Alava) Informe sobre los hallazgos de grafitos de carácter excepcional*, edición digital en <http://www.alava.net> (consultado 1-9-2009).
- FRANCOVICH R., WICKHAM CH.  
2004 Conclusioni, G. P. Brogiolo, A. Chavarria Arnau, M. Valenti, *Dopo la fine delle ville: le campagne dal VI al IX secolo*, Padova, pp. 349-357.
- GUERREAU, A.  
2002 *El futuro de un pasado. La Edad Media en el siglo XXI*, ed. Crítica, Madrid.
- GONZÁLEZ MINGUEZ, C.  
2004 La fundación de villas y el desarrollo urbano en el País Vasco (siglos XII-XIV), en P. Barruso Barés, J. A. Lema Pueyo (coord), *Historia del País Vasco. Edad Media (siglos V-XV)*, Hiria, San Sebastián, 279-309.
- GUTIÉRREZ CUENCA, E.  
2002 Dataciones absolutas para la arqueología de época histórica en Cantabria, Nivel Cero 10, 89-111.
- HARRIS E. C.  
1991 Principios de estratigrafía arqueológica, ed. Crítica, Barcelona.
- HODDER, I.  
1994 *Interpretación en Arqueología. Corrientes Actuales*. Editorial Crítica, Barcelona.
- HODGES, R.  
1995 Riflessioni sull'archeologia dei grandi uomini nell'altomedioevo. In E. Bodrini and R. Francovich (eds), *Acculturazione e mutamenti prospettive nell'archeologia medievale del Mediterraneo*, Firenze, 53-61.

KUZMIN, YAROSLAV V.

- 2009 Radiocarbon and the Old World Archaeology: Shaping a Chronological Framework, *Radiocarbon 51 (1)*, p. 149-172.

LUCAS G.,

- 2006 Historical archaeology and time, S. Hicksa, M. C. Beaudry, *The Cambridge companion to Historical Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 34-47

MANACORDA D.

- 2008 *Lezioni di Archeologia*, Roma-Bari.

MCCORMAC, F.G., BAYLISS, A., BAILLIE, M.G.L., BROWN D.M.

- 2004 Radiocarbon calibration in the anglo-saxon period: AD 495-725, *Radiocarbon 46 (3)*, 1123-1125.

MCCORMAC F.G., BAYLISS A., BROWN D.M., REIMER P.J., THOMPSON M.M.

- 2008 Extended radiocarbon calibration in the anglo-saxon period: AD 395-485 and 735-805, *Radiocarbon 50 (1)*, 11-17.

OLSSON, INGRID U.

- 2009 Radiocarbon Dating History: Early Days, Questions, and Problems Met, *Radiocarbon 51*, 1-43.

PARISE BADONI F., RUGGERI S.

- 1984 *Norme per la redazione Della scheda di saggio stratigrafico (SAS)*, Roma.

PETTITT, PAUL. B.

- 2005 Ideas in relative and absolute dating, C. Renfrew, P. Bahn ed., *Archaeology. The key Concepts*, Oxon, pp. 64-70.

OBERLIN CH., ÉVIN, J.

- 1996 Utilisation des datations radiocarbone pour le période médiévale: quelques exemples, H. GALINIE, E. ZADORA-RIO, *Archéologie du cimetière Chretien*, Tours, pp. 243-250.

QUIRÓS CASTILLO J. A.

- 1996 Indicadores cronológicos de ámbito local: cronotipología y mensiocronología, en *Arqueología de la Arquitectura (Burgos, 1996)*, Valladolid, 179-187.

QUIRÓS CASTILLO J. A., BENGOETXEA REMENTERIA B.

- 2005 Las villas vascas antes de las villas vascas. La perspectiva arqueológica sobre la génesis de las villas en el País Vasco, en B. ARIZAGA (ed.), *El espacio urbano en la Europa medieval*, Nájera, 147-165.

QUIRÓS CASTILLO J. A., VIGIL ESCALERA GUIRADO A.

- 2007 Networks of peasant villages between Toledo and Uelegia Alabense, Northwestern Spain (V-Xth centuries), *Archeologia Medievale XXXIII*, 79-128.

RENFREW C.

- 2007 *Prehistory: The Making of the Human Mind*, Weidenfeld & Nicolson, London.

RODRIGUEZ TROBAJO E., ALONSO MATTHIAS F., CABALLERO ZOREDA L.

- 1998 Datación de una viga de la iglesia de San Pedro de la Nave (Zamora), *Archivo Español de Arqueología 71*, 283-294.

SCHIFFER M. B.,

- 1986 Radiocarbon dating and the "Old Wood" Problem: The case of the Hohokam chronology, *Journal of Archaeological Science 13*, 13-30.

- 1987 *Formation processes of archaeological record*. New México University Press. Albuquerque.

SHANKS M., TILLEY CH.

- 1997 *Social Theory and Archaeology*, University of New Mexico press, Albuquerque.

WILSON M. A., CARTER M. A., HALL C., HOFF W. D., INCE C., SAVAGE S. D., MCKAY B., BETTS I. M.,

- 2009 Dating fired-clay ceramics using long-term power law rehydroxylation kinetics, *Proc. R. Soc. A* published online before print May 27, 2009, doi: 10.1098/rspa.2009.0117.