

ARQUEOMETRÍA: CAMBIOS Y TENDENCIAS ACTUALES

ARCHAEOLOGY: CHANGES AND CURRENT TRENDS

IGNACIO MONTERO RUIZ (*)
MANUEL GARCÍA HERAS (* y **)
ELÍAS LÓPEZ-ROMERO (***)

RESUMEN

Este trabajo realiza un recorrido por la definición del término Arqueometría y las distintas acepciones que ha ido teniendo desde su aparición en la década de los 50 del siglo pasado hasta el presente. También se profundiza en los antecedentes históricos, en la evolución acaecida en las últimas décadas y en los campos de actuación cubiertos en la actualidad por esta nueva área de conocimiento, cuyo desarrollo no puede entenderse al margen de la propia arqueología. Un análisis bibliométrico ha servido además para conocer en profundidad las tendencias en este tipo de estudios arqueométricos y valorar el papel que juegan en la investigación arqueológica actual. Por último, se discuten algunas ideas sobre las particulares características del conocimiento generado por la Arqueometría, así como su futuro y perspectivas más inmediatas.

ABSTRACT

This paper looks through the definition of the term Archaeometry and its different meanings since the first use of the term in the 1950s to the present. It is also concerned with the historical background of Archaeometry, its evolution throughout recent decades and the fields currently covered by this new area of knowledge, which must be understood within the limits of archaeology. In addition, a bibliometric analysis has served to show in depth the trends of archaeo-

metric studies and to assess their role in current archaeological research. Finally, some ideas on the particular knowledge generated by Archaeometry as well as its future and immediate perspectives are also discussed.

Palabras clave: Arqueometría. Tendencias. Investigación interdisciplinar. Disciplina académica. Bibliometría.

Key words: *Archaeometry. Trends. Interdisciplinary research. Academic discipline. Bibliometry.*

“¿Qué es en realidad la Arqueología? Yo mismo no lo sé, a ciencia cierta.... Yo ni siquiera sé si la Arqueología ha de ser descrita como un arte o como una ciencia; sobre este tema volveré a hablar en el capítulo último. Pero por lo menos es bastante claro que la Arqueología depende cada vez más de una multitud de ciencias y que ella misma adopta cada vez más también la metodología de una ciencia natural. Hoy tiene conexiones con la física, la química, la geología, la biología, la economía, las ciencias políticas, la sociología, la climatología, la botánica y no sé cuántas más. Como ciencia, es ante todo un proceso de síntesis”. (Wheeler, M. 1961: *Arqueología de campo*. FCE, México: 10).

1. INTRODUCCIÓN (1)

En 2007 se cumplen los 50 años de la creación del Instituto Español de Prehistoria, antecedente del

(*) Departamento de Prehistoria, Instituto de Historia (IH-CSIC). C/ Serrano, 13. 28001 Madrid. Correo electrónico: imontero@ih.csic.es; mgheras@ih.csic.es

(**) Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CE-NIM-CSIC). Avda. Gregorio del Amo, 8. 28040 Madrid.

(***) CNRS UMR6566-Université de Rennes1, 263 Av. du Général Leclerc, Bât 24-25, 35042 Rennes (Francia). Postdoctoral (MEyC).

Recibido: 21-III-2006; aceptado: 29-VIII-2006.

(1) Parte de esta investigación se ha realizado durante la estancia de IMR en el Departamento de Antropología de la Universidad de Auckland dentro del programa de ayudas para la movilidad de profesores de universidad e investigadores españoles y extranjeros del Ministerio de Educación y Ciencia en su convocatoria de 2004.

hoy día Departamento de Prehistoria del Instituto de Historia del CSIC. Sin embargo, de manera próxima se producirán cambios en la estructura de los Institutos de Humanidades y Ciencias Sociales ubicados en Madrid con motivo de su traslado a una nueva sede. Durante este proceso de reforma, inconcluso a la hora de escribir este trabajo, una de las opciones que se plantearon fue la de incorporar y utilizar el término Arqueometría en la denominación del Departamento. Esta propuesta buscaba dar cobertura a una gran parte de las actividades desarrolladas por el Departamento desde los años 80, rompiendo la restricción cronológica que conlleva el término Prehistoria, y dando mayor sentido de transversalidad a la investigación realizada. En el debate mantenido sobre la nueva denominación quedó clara la ambigüedad tanto del término Arqueometría como de su campo de actuación concreto. Este problema de definición no es nuevo y el significado varía según quien lo utilice (De Atley y Bishop 1991: 358-59, Van Zelst 1991: 346).

La aparición del término está vinculada al nombre de la revista *Archaeometry*, fundada en 1958 por el *Research Laboratory for Archaeology and the History of Art* de la Universidad de Oxford (Leute 1987: 2, Tite 1991: 139) y su definición ha ido tomando forma con el tiempo en función de los contenidos de la revista, aunque un concepto muy general fue utilizado por Aitken (1961: V) como "*measurements made on archaeological material*". Otras definiciones posteriores como la de Olin (1982: 19) "*application and interpretation of natural science data in archaeological and art historical studies*" han sido criticadas por considerarlas vagas y no específicas, aunque como señalaba Van Zelst (1991: 347) este es el problema de los conceptos generales, y más en el caso de un campo de investigación que en realidad está compuesto por diferentes tipos de estudios. No obstante, esta definición de Olin es importante porque incluye dos actividades separadas en sus fines y métodos de trabajo como son la arqueología y la historia del arte. El concepto empleado de "ciencias naturales" era también genérico y como apuntaba Renfrew en el debate de la reunión celebrada en 1981 sobre el futuro de la Arqueometría (Olin 1982: 42), dentro del vigésimo primer congreso internacional celebrado en Nueva York, nos debemos referir a todas las ciencias naturales incluyendo zoología y botánica. La línea seguida por la revista *Archaeometry* centrada en los análisis físico-químicos, con exclusión de las disciplinas anteriores, produjo una limitación

del término con consecuencias visibles, como la ausencia de estas investigaciones en los Congresos Internacionales de Arqueometría promovidos también desde Oxford a partir de los primeros años de la década de los 60. Esto desembocó en un predominio del uso del término Arqueometría asociado al de análisis cuantitativo de los materiales (Smith 1982: 49) y a su restricción conceptual en determinados ámbitos científicos. Por ello, los primeros libros sobre Arqueometría se centraban casi exclusivamente en el análisis físico-químico de materiales (p.e. Tite 1972).

Paralelamente la utilización de otros términos como "*Archaeological Science*" o "*Science-based Archaeology*" (Arqueología Científica) más abiertos a las ciencias naturales, contribuyó a reforzar la restricción del término Arqueometría. La aparición del *Journal of Archaeological Science* en 1974 es reflejo de esa tendencia. Así, en el estudio bibliométrico sobre los primeros 9 años de esta revista (Edwards 1983) se indicaba que los temas biológicos, principalmente zoológicos y botánicos, ocupaban algo más del 50 % de los artículos publicados, mientras que el análisis de materiales no llegaba al 17 %. De igual modo, Leute (1987: 2) explicaba la elección del término Arqueometría frente a Ciencia en Arqueología en el título de su libro por centrarse sus contenidos preferentemente en los métodos físicos de análisis.

En castellano la utilización del término Arqueología Científica, o su traducción más literal como Arqueología de base científica, no ha tenido tanto arraigo como el de Arqueometría. Los motivos quizás tengan una raíz semántica. Hablar de una Arqueología científica implica aceptar la existencia de una arqueología no científica, idea que no es admitida por la Comunidad de investigadores de este campo. Sin embargo, no debe confundirse el uso de técnicas científicas en la investigación arqueológica con el procedimiento científico que la arqueología sigue en su investigación (2) (Jones 1982: 25).

Los contenidos que se engloban en el término Arqueometría han variado en los últimos años y de este modo los Congresos Internacionales de Arqueometría han abierto sus puertas a la sección de biomateriales desde el celebrado en 1996 en Urbana (Illinois, EEUU), aunque con un predominio de análisis de ADN, de isótopos estables o identifica-

² Sobre el debate entre la arqueología concebida como historia o como ciencia en los años 60 y 70 del siglo XX puede leerse el capítulo 4, *Making Archaeology Explicitly Scientific*, del libro de O' Brien et al. (2005)

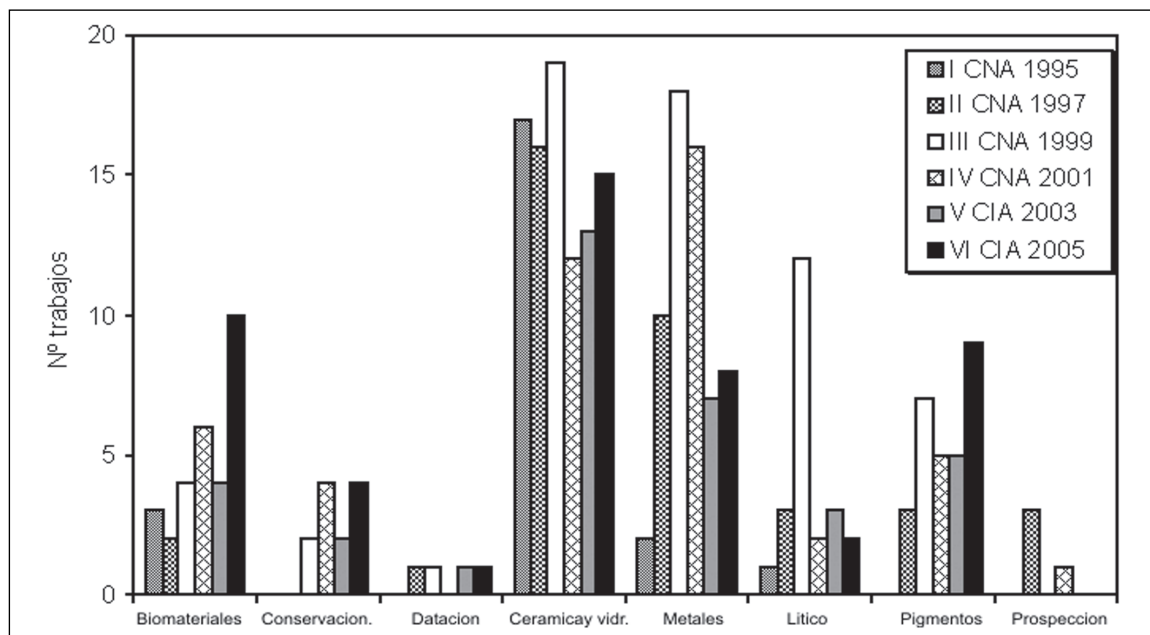


Fig. 1. Número de trabajos publicados o presentados por área temática en los Congresos Ibéricos de Arqueometría.

ción de residuos como resinas o productos alimenticios frente a trabajos polínicos, antracológicos o arqueozoológicos en su vertiente paleoambiental. En el caso de los Congresos españoles de Arqueometría el cambio, aunque lento, también se ha producido desde el primer Congreso de Granada de 1995, hasta el sexto celebrado en Gerona en 2005 (García Heras 2003: 13) (Fig. 1). Por otra parte, los congresos de Arqueometría celebrados en Australia y Nueva Zelanda (*Australasian*) desde 1982, aún empleando el término Arqueometría siguen la filosofía del *Journal of Archaeological Science*, con un mayor peso de las cuestiones paleoambientales (3).

CONGRESO	Nº de Trabajos
I	23
II	39
III	64
IV	46
V	35
VI	49

Tab. 1. Número de trabajos presentados en los Congresos Nacionales e Ibéricos de Arqueometría.

(3) El menor predominio de los temas relacionados con estudios de materiales puede en parte explicarse por la ausencia de cerámicas en la Prehistoria australiana y en la mayor parte del desarrollo cultural de las islas de la Polinesia, así como la ausencia de metalurgia anterior al contacto con los europeos en el Pacífico. Por el contrario las conchas y el material lítico toman un protagonismo especial, así como las técnicas de datación y los estudios zoológicos y botánicos.

Según nuestra percepción, actualmente la distinción o separación entre los términos ingleses *Archaeometry* y *Archaeological Science* tiende a desaparecer y son cada vez más los partidarios de adoptar el término de Arqueometría (4) en su sentido más amplio.

En general se acepta que los campos de actuación de la Arqueometría son: 1. Datación; 2. Análisis físico-químicos de materiales, incluyendo tecnología, origen y uso de los mismos; 3. Estudios paleoambientales; 4. Prospección geofísica y tele-detección espacial y 5. Métodos matemáticos y estadísticos (Taylor 1982; Langouet 1982; Tite 1991; McGovern 1995). Este último campo era cuestionado por Taylor (1982) para quien reflejaba únicamente el incremento de la cuantificación en arqueología y podría no incluirse como aplicación arqueométrica específica. Sin embargo, el desarrollo de la informática en la segunda mitad de los años 80 y principios de los 90 del siglo pasado produjo un impulso de trabajos en esta línea y su presentación como sección separada en los Congresos Internacionales de Arqueometría. En la actualidad las aplicaciones estadísticas e informáticas quedan

(4) Aunque académicamente los cursos de formación y cátedras en el Reino Unido y EEUU adoptaron mayoritariamente en los años 80 y 90 la denominación *Archaeological Science*, otros países y tradiciones investigadoras manejan en la práctica un concepto amplio de Arqueometría. Por ejemplo, G. Rapp argumenta a favor de este cambio (<http://www2.uiuc.edu/unit/ATAM/teach/rapp.html>) en los Estados Unidos.

integradas como herramientas para la interpretación de los datos de los otros campos de estudio. Tite (1991: 140) proponía un sexto campo relacionado con la conservación del material, que cada vez tiene más peso en la orientación de las investigaciones actuales (Sease 1995: 139) (5).

2. ANTECEDENTES DE LA ARQUEOMETRÍA

La obtención de información a partir del registro arqueológico ha sido una preocupación constante en la arqueología, aunque las posibilidades de hacerlo han estado limitadas por las disponibilidades técnicas de cada momento. Análisis químicos de diversos materiales arqueológicos y de antigüedades pueden rastrearse a lo largo de todo el siglo XIX y se puede afirmar que el desarrollo de nuevas técnicas de análisis en el ámbito de las ciencias ha tenido una pronta aplicación en el campo de la arqueología y el arte. Esto es especialmente cierto en el campo de la datación.

Pollard y Heron (1996: 3-7) recopilan algunos de los primeros estudios analíticos de materiales arqueológicos como el de Klapproth fechado en 1795 sobre composición de monedas, el estudio de pigmentos romanos por Davi publicado en 1815, y la orientación de algunos estudios pioneros para resolver problemas arqueológicos como la procedencia del material, siendo el estudio de Gobel fechado en 1842 un buen ejemplo de ello. El primer apéndice dentro de una memoria de excavación arqueológica parece ser el de Percy en 1853 dentro del libro de Layard sobre las ruinas de Nínive y Babilonia (Goodway 1991: 705; Pollard y Heron 1996: 5).

Muchos de estos primeros estudios analíticos anteriores al inicio del siglo XX son sobre metales, pero los hay también sobre cerámica, piedra, vidrio o ámbar. En el campo de la arqueobotánica existen diversos trabajos publicados a lo largo del siglo XIX, como el realizado por Kunth en 1826 sobre semillas desecadas y frutas de las tumbas egipcias, o el de Heer en 1866 sobre muestras de palafitos suizos (Renfrew 1973: 1). En el caso concreto de los análisis polínicos, aunque hay trabajos anteriores, es a partir de 1916 cuando Lennart von Post rea-

liza los primeros trabajos cuantitativos (Pearsall 1989: 256) cambiando los métodos de estudio; y entre los trabajos más antiguos con fitolitos se suelen citar los de Netolitzky de 1900 y 1914 y Schellenberg de 1908, aunque el impacto real de estos estudios en la arqueología no se producirá hasta las décadas de los 70 y 80 del siglo XX (Pearsall 1989: 328). Incluso el término arqueozoología puede retrotraerse al siglo XIX, al ser empleado por Lubbock al referirse a los zoólogos Streenstrup y Ruttimyer que estudiaron fauna arqueológica (Reitz y Wing 1999), sin olvidar la estrecha relación que la arqueología tuvo en los orígenes con la geología y la paleontología.

Pernicka (1998) estableció tres fases en el desarrollo de la arqueometalurgia, que pueden aplicarse a la Arqueometría en general – **formativa** (siglo XIX - 1930), **desarrollo** (1930-1970) y **expansión** (1970 - presente) (6). El punto clave de separación entre la fase formativa y de desarrollo es el incremento de las técnicas de medición instrumental a partir de la aplicación de la espectrometría de emisión óptica (OES en sus siglas en inglés) (Pollard y Heron 1996: 7; Pernicka 1998). Anterior a ese momento, no obstante, se produjeron avances relevantes con sus correspondientes aplicaciones como la radiografía (7), o la fotografía aérea para prospección y registro.

Durante la fase de desarrollo, y sobre todo tras la II Guerra Mundial, aparecen nuevas técnicas de análisis que tendrán un amplio uso en la fase de expansión. Así Alan Walsh desarrolla la espectroscopía de absorción atómica (AAS en inglés) en 1955 y Harry Bowman y su equipo publican en 1966 los primeros análisis con fluorescencia de energía de dispersión de rayos X (ED-XRF en inglés) (Ryon 2001: 366). En el campo de la datación los principios del arqueomagnetismo se presentan en 1936, la datación por fluor en la década de los 40, el carbono 14 (C14) a fines de esta misma década y los principios de la termoluminiscencia en 1953, aunque su uso generalizado en arqueología no será hasta los años 70. También tras la II Guerra Mundial los métodos de prospección geofísica experimentan un

(6) En el caso de la zooarqueología, Robinson (1978) establece la división de fases en Formativa (1880-1950), Sistematización (1950-1960) y finalmente Integración (1960 en adelante) a partir de las aproximaciones ecológicas promovidas por la Nueva Arqueología (Sobolik 2003).

(7) El propio Roentgen realizó una radiografía de un grabado de Durero (Leute 1987: 3), y la técnica fue aplicada a momias egipcias por Flinders Petrie o Van Heuk antes de finalizar el siglo XIX (Keshet 2006:16).

(5) En el último Congreso Internacional de Arqueometría publicado, la trigésimo tercera edición celebrada en Amsterdam en 2002, el número de trabajos sobre conservación es de ocho (Kars y Burke 2005).

gran avance con la aparición de equipos de resistividad y electromagnetismo (Tite 1991: 141).

A partir de la década de los 70 se cuenta con una gran diversidad de técnicas multielementales y se produce el avance en el desarrollo de la instrumentación gracias al control digital y a la estandarización de las plataformas informáticas que los soportan, mayor precisión en los análisis, así como nuevo software y desarrollo de equipos portátiles (Jenkins 1999). Como grandes avances pueden citarse para el campo de la datación por C14 la utilización desde 1984 de la espectrometría de masas por acelerador (AMS en sus siglas en inglés) que en vez de medir la desintegración de los isótopos, cuantifica su número en una muestra, lo que permite utilizar muestras de reducido tamaño; el uso de la teledetección espacial y de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) para los estudios de prospección y paleoambiente, y en el campo de las ciencias biológicas el análisis de isótopos estables, y especialmente del ADN con el desarrollo en 1983 de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), que supuso una revolución en muchos campos de la biología y de la medicina (8). Todos ellos han incrementado las posibilidades de investigación del registro arqueológico.

Pero igual de importante que el avance técnico fue el desarrollo teórico en arqueología, ya que en la *Nueva Arqueología* el registro arqueológico empezó a valorarse de manera diferente y se potenció el desarrollo de los estudios arqueométricos gracias a los nuevos intereses de la investigación, como la distribución de materiales por comercio e intercambio, así como los estudios cuantitativos (Pollard y Heron 1996: 9; Trigger 1989; Marciniak y Raczowski 2001) y paleoambientales. Un ejemplo claro de este cambio conceptual lo constituyen los estudios de petrografía cerámica. Iniciados en la década de los años 30 por Anna O. Shepard en EEUU, no tuvieron mayor desarrollo y valoración hasta fines de la década de los 60 (Bishop y Lange 1991).

Otro cambio significativo en esta última etapa de expansión es el incremento de laboratorios que trabajan la línea de Arqueometría. Si en la fase formativa se trataba principalmente de estudios individuales realizados por personas con intereses particulares, pero no exclusivos en el tema, con la excepción de la creación del laboratorio en el Museo de Berlín en 1888, que desapareció al acabar la

I Guerra Mundial, en la fase de desarrollo empiezan a crearse laboratorios estables y especializados en determinados países occidentales, principalmente vinculados a museos (Goodway 1991: 706). Estos laboratorios se plantean su trabajo como proyectos de caracterización a mayor escala, como los que se realizarán sobre la metalurgia prehistórica en Europa desde 1931 (9). Entre ellos desataca la creación a fines de la década de los años 20 del laboratorio del Fine Arts Museum de Boston, del laboratorio del Louvre en 1931 y también, en ese mismo año, del laboratorio de investigación permanente en el British Museum, aunque desde 1920 existía un laboratorio temporal (Craddock 1991: 12). A mediados de los años 30 se crea el laboratorio de etnobotánica dentro del Museo de Antropología de la Universidad de Michigan (Sobolik 2003: 9) y en 1937 el laboratorio en el Instituto de Arqueología de la Universidad de Londres. Años más tarde, en 1951, se crea el laboratorio de datación por dendrocronología y C14 del Museo Arqueológico de la Universidad de Pennsylvania (MASCA).

En la década de los 50 se produce también la primera reunión entre arqueólogos y químicos nucleares en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton (New Jersey, EEUU), donde se plantea cuáles podían ser las posibilidades de los métodos nucleares en la resolución de problemas arqueológicos, en un intento de hacerlos más populares a la comunidad científica norteamericana en una época de agitado debate sobre su aplicación a la industria armamentística (Neff 1992). La reunión trajo consigo el inicio de la aplicación de los análisis por activación neutrónica (NAA son las siglas en inglés) a materiales como la cerámica y el vidrio en un primer momento, y después a monedas y pinturas entre otros (10). Este impulso a la investigación arqueométrica se puso en marcha desde el Brookhaven National Laboratory (BNL) de Nueva York con Edward Sayre a la cabeza (Sayre y Dodson 1957), al que pronto se le unió el Lawrence Berkeley Laboratory (LBL) de la Universidad de California en San Francisco.

En el último periodo, a partir de la década de los 70, se generalizan en muchos países los estudios de Arqueometría, en parte con colaboraciones puntuales desde laboratorios de ciencias, pero sobre todo

(9) Los primeros grandes corpus de datos se publicarán años más tarde: Otto y Witter (1952), Pitoni (1959), o Junghans *et al.* (1960).

(10) [http://www.bnl.gov/chemistry/History/RadioactivityAndNuclear Rxns.asp](http://www.bnl.gov/chemistry/History/RadioactivityAndNuclearRxns.asp)

(8) Por ejemplo, entre 1985 y 2005 se han publicado 53 artículos sobre estudios de ADN en el *Journal of Archaeological Science*.

con proyectos de investigación estables. Así, por mencionar algunos ejemplos, en 1974 empieza el primer proyecto sobre caracterización de obsidianas de Nueva Guinea desde el AINSE (Australian Institute of Nuclear Science and Engineering) (Ambrose 1998) y en ese mismo año se crea el laboratorio de radiocarbono de Waikato en Nueva Zelanda. En 1977 se creaba el laboratorio de geocronología del Royal Ontario Museum en Canadá. Otros laboratorios importantes se crearon ya en la década de los 80, como el laboratorio de Arqueometría Demokritos (11) en Grecia. Por otro lado, en la década de los 70 se fundan en algunos de estos países las primeras sociedades y asociaciones de Arqueometría, reflejo de la creciente actividad e interés por el estudio del material arqueológico y artístico (12).

En España en la década de los 60 y principios de los 70 comienzan los trabajos del laboratorio de Arqueozoología del Departamento de Prehistoria de la Sociedad de Ciencias Aranzadi de la mano de Jesús Altuna (Altuna 1995: 9). En 1977 inicia su andadura el laboratorio de palinología del Instituto Español de Prehistoria (López *et al.* 2002) y en 1982 comienza el proyecto Arqueometalurgia de la Península Ibérica, gestionado inicialmente desde el Ministerio de Cultura en el Instituto de Conservación y Restauración de Obras Artísticas (ICROA), actualmente Instituto de Patrimonio Histórico Español (IPHE). El laboratorio de Arqueozoología de la Universidad Autónoma de Madrid se crea en 1984, aunque Arturo Morales, su director, inició sus investigaciones en la década anterior. Sin embargo, no será hasta 1997 cuando se cree en España la *Sociedad de Arqueometría Aplicada al Patrimonio Cultural* (SAPaC).

Es también el período de proliferación de congresos y reuniones científicas. De hecho, muchas de estas sociedades los organizan de forma periódica

(Fig. 2). El GMPCA francés celebra regularmente coloquios bianuales, habiendo sido el último el celebrado en la ciudad de Saclay en 2005. La *Sociedad Griega de Arqueometría* también organiza congresos regulares, el último de ellos, el IV Congreso Nacional de Arqueometría griego, en Atenas en el año 2003. Igualmente, la *Associazione Italiana di Archeometria* ha celebrado recientemente el IV Congreso Nacional italiano en Pisa en 2006, mientras que la SAPaC española organizó el VI Congreso Nacional en Gerona a finales del año 2005. Por lo demás, la última edición de los Congresos Internacionales de Arqueometría promovidos desde la universidad de Oxford, la trigésimo sexta, se ha celebrado en Québec (Canadá) en mayo de 2006. Un ejemplo de la buena salud de que goza la Arqueometría es que su difusión continúa actualmente en otros muchos países, como es el caso de Argentina que ha celebrado su Primer Congreso de Arqueometría en octubre de 2005 en la ciudad de Rosario.

3. INTERESES Y CAMPOS DE ACTUACIÓN DE LA ARQUEOMETRÍA

Para conocer algunos rasgos y las tendencias de la investigación realizada en Arqueometría en la última etapa, aún a pesar de las limitaciones conceptuales indicadas anteriormente y la exclusión de los estudios paleoambientales, hemos intentado observar las transformaciones seguidas por la investigación arqueométrica, los campos de aplicación preferenciales, la introducción de nuevas técnicas, medir la frecuencia de uso de algunas de ellas, y desgranar aspectos generales de la investigación, teniendo presente la nacionalidad de los autores y la naturaleza de los grupos de trabajo. Para ello se ha utilizado una muestra de 1440 registros que comprende los artículos publicados en los diferentes Congresos Internacionales de Arqueometría y las revistas *Archaeometry* (Blackwell Publishers y Universidad de Oxford, Reino Unido) y *Revue d'Archéométrie* (CNRS, Francia), que han sido vaciadas siguiendo criterios bibliométricos de análisis. Se ha tomado como límite cronológico de cada serie los volúmenes correspondientes al año 2000.

Aunque la muestra pueda tener algunos sesgos, esta visión pretende únicamente ser un acercamiento a lo más representativo. En este sentido hay que destacar que en los Congresos Internacionales se presentaron muchos más trabajos de los finalmente

(11) El laboratorio de Arqueometría N.C.S.R. Demokritos fue oficialmente creado por decreto presidencial en 1987. Sustituyó al programa de Arqueometría que existía previamente en el laboratorio desde 1983 y al programa de cooperación con el Ministerio de Cultura de Grecia iniciado en 1978. No obstante, las primeras investigaciones del personal del laboratorio Demokritos sobre material arqueológico comenzaron en 1965.

(12) Entre ellas cabe destacar el *Groupe de Méthodes Pluri-disciplinaires Contribuant à l'Archéologie* (GMPCA) francés (<http://gmppca.u-bordeaux3.fr/index.php>) fundado en 1976 que edita la *Revue d'Archéométrie* desde 1977; o la *Society for Archaeological Sciences* norteamericana (<http://www.socarchsci.org>) fundada en 1977 y responsable de la edición del *Journal of Archaeological Science*. En 1982 se funda la *Sociedad Griega de Arqueometría* (<http://www.archaeometry.gr/oldv/ae/HSA.htm>). La *Associazione Italiana di Archeometria* (<http://aiar.mater.unimib.it>) fue fundada, sin embargo, en 1993.

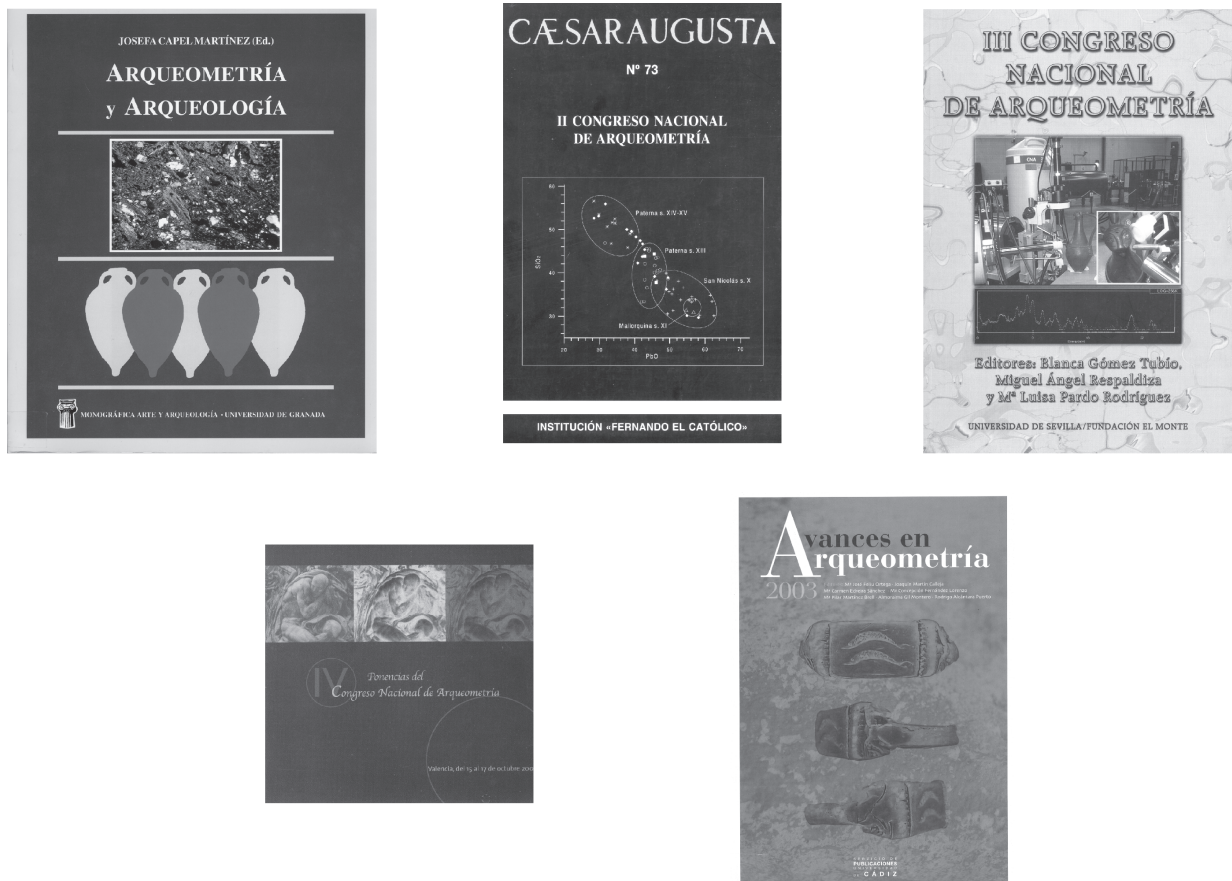


Fig. 2. Portada de las publicaciones surgidas de los Congresos Nacionales de Arqueometría organizados por la SAPaC. No todos ellos identifican en portada el origen de la publicación.

publicados, que responden a una selección de aquellos temas más novedosos e interesantes. Por otra parte, si comparamos los datos de artículos publicados sobre material cerámico, como ejemplo, en *Archaeometry* y *Journal of Archaeological Science* desde 1974 hasta 2005, vemos que la información manejada en nuestra muestra es representativa del tipo de investigación realizado. Así, en este período de 31 años, en *Archaeometry* se publicaron 193 artículos frente a 108 en el *Journal of Archaeological Science*, a pesar de que esta última publica muchos más números y artículos por año, pero con mayor amplitud temática, como ya se comentó anteriormente.

Los artículos se han clasificado en siete grupos temáticos en función de sus objetivos generales; contamos, así, con 1.- estudio de materiales arqueológicos, 2.- datación, 3.- análisis de sedimentos, suelos y geología, 4.- estadística, informática y análisis de imagen, 5.- trabajos descriptivos y de

revisión, 6.- genética, y 7.- otros (trabajos no propiamente clasificables dentro de los estudios de Arqueometría).

En relación con las series de referencia, hay que señalar en primer lugar que la disponibilidad de los Congresos Internacionales es limitada puesto que su publicación es irregular y depende de los organismos responsables de su organización en las distintas sedes de celebración. El primero de estos Congresos Internacionales de Arqueometría incluido en nuestro estudio es el décimo sexto, celebrado en Edimburgo (Reino Unido) en 1976, mientras que el último recogido es el trigésimo celebrado en Urbana (Illinois, EEUU) en 1996. Por su parte, las revistas *Archaeometry* y *Revue d'Archéométrie* han sido vaciadas a partir de los volúmenes de 1975 y 1977 respectivamente.

A pesar de haberse desglosado en la base de datos, las diferentes variantes analíticas han sido agrupadas para facilitar la cuantificación del impacto

BLOQUES TEMÁTICOS DE ESTUDIO

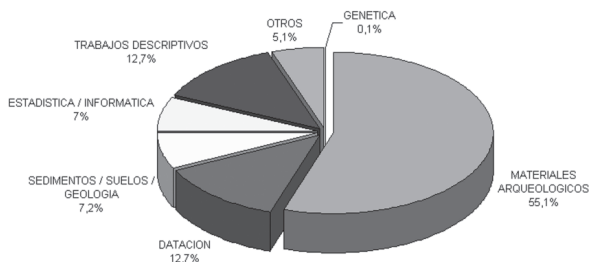


Fig. 3. Distribución de los contenidos temáticos en la muestra de artículos estudiada, que muestra el predominio de los estudios sobre materiales arqueológicos.

global de las técnicas empleadas. De este modo, diferentes variantes y mejoras instrumentales se han unificado dentro de la técnica general (13).

En lo que se refiere al comportamiento de los bloques temáticos (Fig. 3), hay que señalar el claro predominio de “estudios de materiales arqueológicos” (55 % del total de trabajos) por encima de otros como “datación” (13 %), “sedimentos/suelos/geología” (7 %), “informática y estadística” (7 %), o “trabajos descriptivos y de revisión” de técnicas y metodologías (13 %). Los trabajos definidos como “otros” y los estudios sobre “genética” (con representación inferior al 1 %) completan el panorama dentro del conjunto de datos disponible.

El papel central de la cerámica como elemento de definición tradicional de conjuntos culturales, cronologías relativas y comportamientos sociales en arqueología tiene claramente su reflejo en el ámbito de la investigación arqueométrica. En efecto, dentro del estudio de materiales, las cerámicas representan el 34,6 % del total de nuestra muestra, seguida por los estudios sobre metales (24,6 %) y piedra (15,9 %). Con menor frecuencia aparecen los estudios sobre vidrio (6,0 %) y pigmentos (5,4 %) (Fig. 4). Salvo en el caso de una parte de los pigmentos, es digno de mención el hecho de que un porcentaje muy elevado de los estudios de materiales se centre sobre elementos de tipo inorgánico. Los análisis o trabajos sobre elementos orgánicos como grasas, resinas, conchas o madera (excluidos

los estudios sobre datación) raramente superan el 1 % del total. Evidentemente, la conservación diferencial de los distintos tipos de materias estudiadas es uno de los factores a tener en cuenta en la interpretación de esta dinámica, aunque no es el único.

En lo que a las técnicas de análisis se refiere, se ha de subrayar la gran variedad dentro del ámbito de estudio de los materiales arqueológicos. En este sentido se observa una paulatina sustitución de técnicas en función de las mejoras tecnológicas, pero también en función de los nuevos objetivos y problemas abordados por la investigación.

La evolución y especificidad en el empleo de las diferentes técnicas queda muy bien reflejada en el caso específico de la arqueometalurgia. Podemos, en primer lugar, definir distintos conjuntos de métodos de análisis aplicados al estudio de los metales: análisis elementales, análisis metalográficos, análisis radiológicos, análisis estadísticos, análisis microscópicos y análisis isotópicos. El 82,4 % de los estudios de metales se refieren al análisis elemental, y es aquí donde el empleo de las técnicas analíticas va a encontrar su mejor reflejo. Las técnicas de análisis elemental más usadas se muestran en la figura 5. El predominio de la microscopía electrónica de barrido (SEM en inglés) y de la fluorescencia de rayos X (XRF en inglés) marca sin duda la trayectoria de la investigación en el último cuarto del siglo XX; no obstante, este predominio en términos globales ha de ser entendido en su contexto diacrónico para mejor evaluar la incidencia de las distintas técnicas en el panorama internacional actual, así como para vislumbrar las tendencias en la evolución de su empleo a corto y medio plazo. En

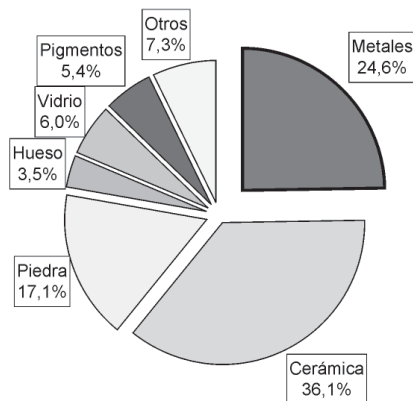


Fig. 4. Distribución del tipo de material arqueológico estudiado en los artículos de Arqueometría en la muestra analizada (periodo 1975-2000).

(13) Así los datos sobre activación neutrónica incluyen tanto la NAA como la INAA, el término microscopía electrónica incluye SEM-EDS, SEM-WDS y microsonda; la espectroscopía de emisión recopila la OES, ICP-AES, e ICP-OES, y la espectroscopía de masas las variantes ICP-MS y LA-ICP-MS (todas las siglas en inglés).

TÉCNICAS DE ANÁLISIS ELEMENTAL

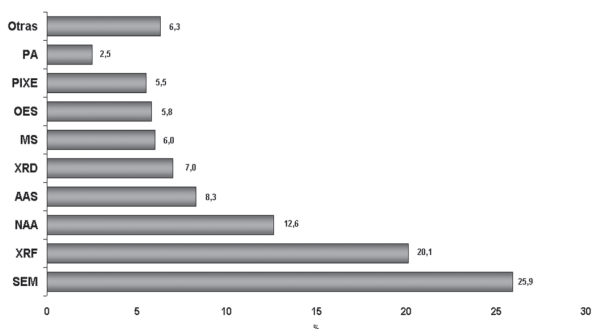


Fig. 5. Técnicas de análisis más utilizadas en los estudios de arqueometalurgia (periodo 1975-2000).

este sentido, se ha segmentado la muestra referente al estudio de metales en períodos de cinco años (1975-1979, 1980-1984, 1985-1989, 1990-1994, 1995-2000) y se ha observado la frecuencia de utilización de las técnicas más representativas, a saber, PIXE, SEM, XRF, AAS, NAA+INAA, OES.

La lectura de esta ordenación (Fig. 6) ofrece datos muy interesantes. En primer lugar, podemos destacar el auge del SEM entre los años 1985 a 1994, produciéndose un incremento considerable en relación con su empleo en los tramos anteriores. La tendencia general a la baja de la activación neutrónica es igualmente significativa, tanto más por cuanto la implementación de mejoras instrumentales (INAA) no parece haber contribuido a la generalización de su uso en el estudio de metales, aunque sí para otros materiales como la cerámica. Como comentábamos líneas más arriba, en térmi-

nos globales la XRF es, junto con el SEM, la técnica a la que se ha recurrido con más frecuencia dentro de los estudios arqueometalúrgicos; sin embargo, la evolución por quinquenios demuestra un descenso uniforme en su empleo, pasando de ser la técnica más usada en el período 1975-1984 a igualarse con la espectroscopía de emisión óptica en la fase de 1995-2000. Precisamente, la evolución seguida por la OES resulta curiosa por su irregularidad. Desarrollada en los años 30 y frecuentemente empleada en los años 50 y 60, la generalización de su uso cae en picado hasta prácticamente desaparecer de las publicaciones científicas en la década de 1980. Sin embargo, a partir de la primera mitad de los años 90 y, sobre todo, a partir de 1995, la técnica se ve relanzada superando incluso el porcentaje de finales de los 70. La razón de este renovado auge de la emisión óptica ha de ser puesta en relación directa con la instrumentalización del plasma acoplado inductivamente (ICP), mejora que ha de hacerse extensible a otras técnicas de espectroscopía de emisión y espectroscopía de masa (ICP-AES, ICP-MS, LA-ICP-MS). El uso de la absorción atómica (AAS) parece haberse mantenido más o menos estable a lo largo del último cuarto del siglo XX, oscilando en torno al 10-15% del total de las técnicas empleadas. Pese a la tendencia a la baja en el uso de la emisión de rayos X inducida por un haz de protones (PIXE) para el estudio de metales, la precisión y resolución analítica de esta técnica parece estar favoreciendo su generalización en la investigación de otros materiales en los últimos años (Demortier y Adriaens 2000, Adriaens *et al.* 2005) tal

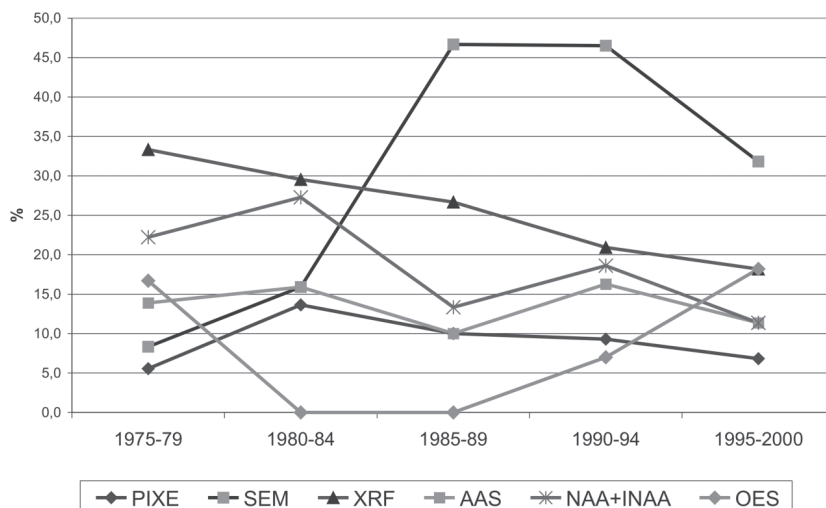


Fig. 6. Evolución temporal sobre el uso de las principales técnicas de análisis aplicadas en los estudios de materiales metálicos.

PERIODO CRONOLOGICO ESTUDIADO

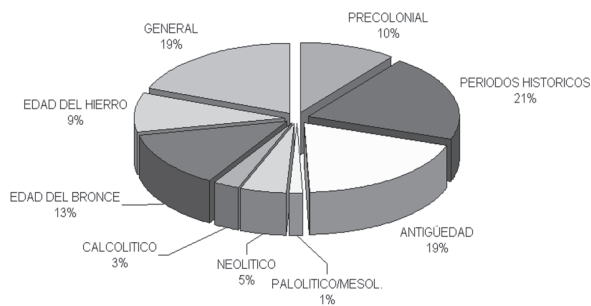


Fig. 7. Distribución de los periodos cronológicos a los que pertenece el material estudiado en los artículos de Arqueometría en la muestra analizada.

como se desprende de los congresos y reuniones más recientes, así como los trabajos publicados en la revista *Nuclear Methods and Instruments in Physics Research B*.

Entrando en el terreno de los periodos cronológicos estudiados (Fig. 7) queremos destacar el número elevado de trabajos arqueométricos (21 %) que hacen referencia a lo que hemos agrupado como periodos históricos (a partir de la Edad Media para Europa y a los periodos coloniales para otras regiones). Este dato demuestra que la Arqueometría, en contra de lo que en ocasiones se pueda pensar desde una perspectiva meramente arqueológica, es un campo abierto al estudio de todas las fases de desarrollo de las sociedades y tiene un fuerte implante en la historia del arte (pintura, escultura y artes decorativas). Esta vocación universalista de la disciplina se ve particularmente reflejada en la alta representación de trabajos de carácter general (19 %), precisamente aquellos que abordan el análisis de materiales desde un punto de vista diacrónico.

En lo que respecta a la autoría de los trabajos, hemos de señalar en primer lugar que se ha considerado para el análisis la nacionalidad del centro de trabajo de cada uno de los autores. Esta atribución se debe a dos condicionantes principales: por un lado, por el interés prioritario que se deriva del conocimiento de la actividad de los centros y equipos de trabajo internacionales en Arqueometría, independientemente de los aspectos individuales relativos a sus miembros y, por otro lado y en menor medida, por la dificultad de atribución de una nacionalidad precisa a los distintos autores. Debido a la publicación de trabajos en coautoría, contamos con 1.620 autores para los 1.440 registros de la base de datos. En este sentido, es interesante constatar

cómo en la distribución de la autoría predominan los trabajos realizados por dos autores (30,1 %), seguidos por los trabajos individuales (28,1%); en menor medida contamos con trabajos de tres (19 %) y cuatro (12,8 %) autores, llegando a darse el caso de artículos en los que participan hasta 16 personas.

La distribución de nacionalidades por artículos (Fig. 8) refleja el predominio en términos generales de los autores anglosajones. A pesar del posible sesgo que en este sentido pudiera verse en la elección de las colecciones de referencia para el análisis bibliométrico, no ha de olvidarse que las publicaciones citadas han sido las que han servido de referencia general a la disciplina, siendo, pues, un buen reflejo de su desarrollo histórico. Así, el 25,8 % de los autores procede de centros de trabajos ubicados en el Reino Unido, mientras que el 13,8 % corresponde a autores que trabajan en los EEUU. El 18,15 % de autores procedentes de Francia parece ser en parte independiente del peso ejercido por la integración de la *Revue d'Archéométrie*, ya que la presencia de autores franceses en los Congresos Internacionales de Arqueometría refleja una relación similar respecto al número de autores británicos y norteamericanos. Por debajo del 10 % de representatividad encontramos las investigaciones realizadas desde Alemania (7 %), Canadá (5,4 %) e Italia (4,2 %); la presencia española en la muestra se limita al 1,7%, que se corresponde con 27 trabajos del total de 1440 del repertorio, incrementándose su frecuencia en la última década del siglo XX.

PROCEDENCIA AUTORES

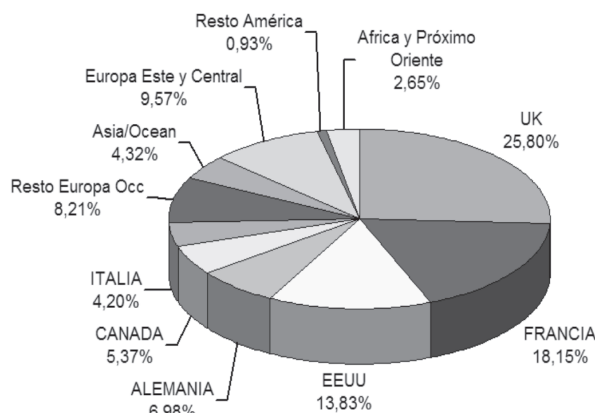


Fig. 8. Procedencia institucional por países o regiones del mundo de los autores firmantes de los artículos de Arqueometría en la muestra analizada.

4. RELACIÓN ENTRE HUMANIDADES Y CIENCIAS: ¿COOPERACIÓN?

Si al inicio del artículo marcábamos las dificultades de definición del término Arqueometría, aún más complicado resulta definir quién realiza este tipo de investigación. La relación entre los estudios e investigadores de humanidades y ciencias puede considerarse limitada ya que ambos desarrollan métodos de investigación diferentes. Sin embargo, la arqueología es un campo donde ese acercamiento se hace posible (Pollard y Heron 1996: 1), siendo la Arqueometría el puente que une a ambas. La construcción de ese puente a través de investigaciones interdisciplinarias no está exenta de dificultades y la relación entre investigadores de ambos campos está llena de tensiones e incomprensión mutua, por el uso de un lenguaje y una perspectiva diferentes (De Atley y Bishop 1991: 361) (14). En la reunión de 1981 sobre las tendencias futuras de la Arqueometría (Olin 1982), como en otros trabajos posteriores, se señalaba que uno de los grandes problemas era la falta de entendimiento y comunicación. La situación actual sigue manteniendo en parte ese problema de cooperación y entendimiento (Marciniak y Raczkowski 2001: 6), a pesar del número creciente de laboratorios que se interesan por esta línea de investigación y la publicación de trabajos con material arqueológico en revistas del área de ciencias. Esta proliferación está generando una apropiación de la investigación arqueométrica por parte de los especialistas del área de ciencias.

Las causas de esta dificultad para la cooperación son muy diferentes según el ángulo o el lado desde el que se mire. En el área de ciencias físicas, por ejemplo, el interés por el material antiguo tiene un carácter secundario y permite probar y desarrollar innovaciones metodológicas de carácter analítico en condiciones extremas, pero una vez logrado esto, como apunta Van Zelst (1991: 350) o Wolfman en el debate de 1981 (Olin 1982: 43) el paso a mediciones repetidas para conseguir una valoración estadística y una interpretación arqueológica se convierte en rutinaria y carente de interés. Es cierto que la Arqueometría, como señalaba Aitken (1982), no sólo sirve a la arqueología y que el desarrollo metodológico es necesario, pero si el interés se limita

sólo a las cuestiones analíticas esa investigación es en realidad ciencia de materiales y tecnología, y nada tiene que ver con la arqueología. Aunque este primer paso es básico para el desarrollo de la Arqueometría, la investigación no puede quedarse en este punto. Su aplicación y adaptación específica al material bajo estudio necesita a partir de este momento de la arqueología. De acuerdo con el planteamiento de Anderson (1987: 4) el problema fundamental de estas aplicaciones y análisis es que no están suficientemente integradas en la explicación e interpretación arqueológica que subyace a la propia obtención de los datos. Este es un punto clave para definir a quién le interesa la Arqueometría o en realidad utiliza como excusa el material arqueológico e histórico en su campo de investigación. Haciendo nuestras las palabras de Stanley Cyril Smith, las mediciones son necesarias pero sólo con un fin, no por sí mismas "*Of course measurements are necessary, but only for a purpose, not in itself*" (Smith 1982: 49). Esta investigación estrictamente técnica carece de interés si no tiene una aplicación arqueológica. En realidad, el estudio arqueométrico no debería ser una ciencia aplicada sino la aplicación de técnicas científicas en la resolución de problemas arqueológicos e históricos, puesto que la ciencia aplicada jamás reconoce las relaciones de los artefactos con su contexto cultural (De Atley y Bishop 1991: 363).

Una cuestión básica para entender el grado de relación y la percepción del problema es el lugar donde se ubican los laboratorios. Es una realidad que actualmente una gran parte de ellos se encuentran en las facultades de ciencias y por tanto la persona trabaja en un ambiente de ciencias, aislado del mundo de las humanidades, salvo con contactos esporádicos, y en el que la investigación arqueométrica es una más, nunca prioritaria, a veces simplemente un sub-producto de las diferentes líneas de investigación que se trabajan en el laboratorio. En ciertos casos la estrategia para iniciar una investigación es buscar al arqueólogo o historiador ofreciéndole una "poderosa" técnica a cambio de un problema a resolver, pero este no necesariamente tiene los conocimientos necesarios para saber qué potencialidades analíticas se ponen en su camino. La falta de entendimiento se achaca entonces a la incapacidad de entender lo que se le ofrece sin darse cuenta de que se le está exigiendo al arqueólogo iniciar un camino que el especialista del área de ciencias no está dispuesto a recorrer en sentido inverso. Esta actitud de cierta superioridad, por des-

(14) La perspectiva aquí adoptada se refiere a los problemas de las aplicaciones arqueométricas en arqueología. La investigación de objetos de arte resulta menos tensa debido a que en estos casos y a diferencia de la arqueología, es el objeto el propio sujeto de la investigación.

gracia todavía frecuente, fue retratada por Smith (1982: 51) indicando que *“When he moves to use his knowledge to help his archaeological friends, he is likely to think that he is still the king pin. He is not. He is got to move from a dominant position in intellectual circles to a subservient one. As an archaeometrist he is making his contribution toward the understanding of human history. He has become a humanist; and if he doesn't accept this, his work will be at the level of a technician doing something for someone else to build upon”*.

Pero esta separación entre ciencias y humanidades tiene otros temas de fondo que dificultan el acercamiento. Los investigadores de ciencias se ven condicionados a publicar en las revistas de impacto para que su trabajo sea reconocido y por tanto publican en circuitos ajenos al de la Historia, por lo que los resultados no se difunden en este ámbito de conocimiento, al margen del interés concreto de lo publicado. Algunas o bastantes de esas revistas de ciencias pueden publicar artículos sobre materiales arqueológicos o históricos pero el problema principal a abordar es el metodológico, no el histórico, que queda relegado para ellos. Por el contrario, las publicaciones en revistas de humanidades, al carecer de factor de impacto, son minusvaloradas ya que no permiten un reconocimiento científico, rompiéndose una posible vía de contacto. Por otra parte, en las revistas de humanidades los aspectos técnicos y metodológicos tienden a ser relegados, lo que limita el conocimiento sobre la calidad de los datos analíticos que se manejan. Esto hipoteca seriamente la interpretación y crea serias dudas sobre la calidad de los datos a los especialistas de ciencias que pudieran leerlos. Las revistas especializadas en Arqueometría están a medio camino entre ambos grupos, algunas con su reconocimiento en los índices de citas internacionales y con un equilibrio de contenidos.

La situación es bien diferente cuando el laboratorio se ubica en un museo o en un departamento de arqueología o antropología, como era frecuente en la etapa de desarrollo. Aquí el contacto con los problemas arqueológicos o de estudio del material es directo y la principal línea de trabajo es la Arqueometría, incluyendo los temas de conservación y restauración. En estos laboratorios el investigador, aunque por formación tenga una titulación de un área de ciencias, puede mantener una relación más fluida con las humanidades, ya que la investigación se integra de forma más coherente y no hay reparos en publicarla en circuitos más próximos porque el

trabajo del laboratorio no tiene que ser medido con factor de impacto, sino como trabajo realizado.

En realidad el arqueómetro está situado entre los dos ámbitos, pero para llegar a ese punto intermedio tiene que partir de una orilla y conocer el otro lado. Cuando se habla de la falta de entendimiento entre la Arqueometría y la arqueología, o del escaso interés de los arqueólogos hacia la Arqueometría (Dunnell 1993), en realidad se trata de falta de interés por detalles técnicos y especializados de las ciencias, que son parte de la Arqueometría, pero fundamentalmente son Física o Química. Tan válido es el acercamiento de arqueólogos e historiadores al campo de las ciencias, aunque tradicionalmente se supone más difícil por la falta de formación científica desde los años finales de la escuela, como desde las ciencias hacia las humanidades. Pero salvo excepciones, el mundo universitario tampoco favorece esa integración porque la formación se rige por una estricta división en áreas. Hace años Vila y Estévez (1989) señalaron la conveniencia de que los propios arqueólogos se especializaran en estas investigaciones técnicas y se crearan laboratorios de arqueología capaces de investigar y adaptarse a las necesidades específicas de la arqueología. En nuestra opinión la arqueología y los arqueólogos no deben inhibirse del desarrollo actual de la Arqueometría y deben servir de orientación en las futuras pautas de investigación que emprenda esta disciplina.

El punto clave para el desarrollo de la Arqueometría es la formación, que actualmente debe conseguirse principalmente después de la titulación o licenciatura correspondiente, mediante cauces restringidos. En historia se pueden dar nociones sobre las distintas aplicaciones de la Arqueometría pero no se dispone de laboratorios, salvo excepciones como el Reino Unido, para profundizar en aspectos de análisis. En ciencias se pueden ofrecer conocimientos analíticos, pero no arqueológicos o históricos. La diversidad de campos con los que se relaciona la Arqueometría impide una formación única y cada uno de ellos requiere de su propia especialización. Sin embargo, en el Reino Unido y EEUU existen cursos de formación en *Archaeological Sciences*. Michael Tite obtuvo la primera cátedra en el Reino Unido en 1990 en la Universidad de Oxford. Después se crearon otras cátedras en las universidades de Bradford, Cambridge y Southampton (Bailey y Heron 1998: 138). Por tanto el primer problema a superar para conseguir una integración entre la investigación arqueológica y las

aplicaciones analíticas es conseguir un sistema educativo que reconozca a la Arqueometría como disciplina.

En el caso español es evidente el déficit en la formación universitaria sin que existan indicios de una mejora futura, entre otras razones por la desconexión de la Universidad con la investigación arqueométrica en los departamentos de Prehistoria y/o Arqueología, y a su vez la escasa relación de éstos con otros departamentos universitarios del área de ciencias que posibilite enseñanzas conjuntas (García Heras 2003). A esta dificultad de especialización en Arqueometría, se une la escasez de formación que las actuales licenciaturas dan a los arqueólogos sobre técnicas de análisis aplicadas a material arqueológico. A finales de la década de los 80, Vila y Estévez (1989: 278) señalaban la necesidad de adecuación de la docencia universitaria a las nuevas demandas de la arqueología, pero casi dos décadas después los actuales planes de estudio siguen ofreciendo pocas posibilidades de formación, incluidos los de tercer ciclo, aunque algunos pasos se han dado y se están dando en algunas universidades (15).

5. ARQUEOMETRÍA: ¿AL SERVICIO DE QUIÉN?

Con la Arqueometría conseguimos datos que hay que explicar y entender, no sólo en el contexto arqueológico, sino en el contexto analítico. La investigación en Arqueometría se basa en ambos contextos y el riesgo de interpretación errónea es elevado cuando se carece de uno de ellos. En el campo arqueológico además la concepción de la Arqueometría como un servicio acentúa los riesgos. La demanda de información y su pago no habilita al investigador en un correcto uso de los datos.

Cada vez es más frecuente en la arqueología la argumentación basada en datos arqueométricos, y por ello es necesaria una verdadera colaboración interdisciplinar en los proyectos que basan sus hipótesis en esos resultados. Este peligro que puede parecer superfluo cuando los servicios demandados son muy generales, como en el caso de la datación por C14, no debe minusvalorarse. El manejo estadístico inadecuado de las dataciones y su interpre-

tación es un lastre y puede llegar a tener implicaciones muy graves. Así lo demuestra Jones (2001) en el caso de la arqueología de Nueva Zelanda por un uso incorrecto del concepto de calibración conjunta de muestras por parte de los arqueólogos, sin entrar a mencionar las formas "ocurrentes" en las que a veces se publican las dataciones.

La obtención de datos carece de sentido si los mismos no son utilizados de manera correcta y si desconocemos la representatividad y el significado de los datos que obtenemos. La oferta de servicios no debe relegar en ningún caso la investigación sobre la obtención de datos, ya que las circunstancias que rodean a las muestras arqueológicas son siempre diferentes unas a otras. Los datos generados por los laboratorios cada vez son mayores y más complejos, pero el dato sin una correcta interpretación no sirve para nada, más bien al contrario genera confusión.

La separación entre el investigador que ofrece un servicio y obtiene el dato a través de una serie de métodos y técnicas y el investigador que interpreta los datos obtenidos en su campo de actuación no parece constituir problema en muchas de las áreas de ciencias. Sin embargo sí es un riesgo en la arqueología.

La demostración de argumentos o hipótesis arqueológicas por el simple hecho de usar técnicas complejas no es garantía de veracidad. Este "cientifismo artificial" podemos ilustrarlo con la crítica realizada por Cotter y Cotter (2003) a la interpretación obtenida del análisis de enlucidos de barro en un yacimiento de la Edad del Hierro de Tailandia. En el artículo al que hacen referencia (Parr y Boyd 2002) los autores llevan a sostener la idea del uso de hornos y de un proceso de industrialización creciente a partir de los datos obtenidos en los análisis. Según Cotter y Cotter en realidad se ha realizado una mala aplicación de análisis mediante ICP-MS, difracción de rayos X (DRX) y susceptibilidad magnética, y una sobreinterpretación de los datos obtenidos. El proceso de formación y las transformaciones de color de la arcilla pueden explicarse por acciones naturales sin necesidad de altas temperaturas. Por tanto, no hay posibilidad de proponer un proceso de industrialización ni un avance tecnológico.

El peligro de no entender las cuestiones arqueológicas con comentarios o comparaciones disparatadas o repetición de tópicos superados que puede darse en el caso de los especialistas del área de ciencias, que prescinden de la colaboración de los his-

(15) Durante el proceso de revisión del texto tras su evaluación hemos tenido conocimiento de la presentación del Master de posgrado en Arqueometría ofrecido por la Universidad Autónoma de Madrid para el curso 2006 y 2007 y organizado desde el Departamento de Geología y Geoquímica.

toriadores (Beck 1985: 406), pasa por la situación contraria en la que el arqueólogo maneja la información arqueométrica sin base crítica suficiente. Por una parte el arqueólogo carece de conocimientos críticos en áreas especializadas que le impiden detectar errores analíticos (Beck 1985: 406) pero por otro, y estos es lo más frecuente, por el manejo acrítico de la información analítica y del contexto arqueológico.

Arturo Morales (1990) ya llamaba la atención sobre el uso incorrecto de la información arqueozoológica por parte de los arqueólogos en lo que él definía como “*desacoplamiento entre la obtención de datos y su interpretación*” (p. 252) advirtiendo del peligro del uso que de los informes pueden hacer otros que desconocen los factores teóricos y metodológicos que guían un estudio, además de desconocer la capacidad explicativa de los datos. Exponía varios ejemplos de ese uso incorrecto por tratar de extraer más información de lo que realmente lo datos pueden aportar en función de sus contextos y características de muestreo.

Un ejemplo concreto, pero lamentablemente no el único, de esta tendencia es el trabajo sobre las fíbulas de codo de la Península Ibérica (Carrasco *et al.* 1999). Todo el ejercicio estadístico y sus conclusiones carecen de sentido al usar datos de composición que carecen de homogeneidad (16) por proceder de técnicas diferentes, laboratorios diferentes y estar expresados bajo valores diferentes, riesgos expresados por los autores pero que, sin embargo, no les impide realizar el trabajo. Aunque la hipótesis pueda tener sentido, la vía y los datos utilizados para su demostración es incorrecta al ignorar la diferencia en la calidad informativa de los datos analíticos manejados. En este ejemplo, además, sería aplicable la frase de Widemann (1982) “*Poverty of measurements is sometimes hidden with sophisticated data processing displays*” o el comentario de Morales (1990: 286) sobre el “*fetichismo de la numerología*” en el que predomina la idea de que cuantos más números aparecen en una página tanto más riguroso parecerá el trabajo.

También tiende a ser general la idea en arqueología de que para construir un argumento coherente y plausible que explique nuestras teorías lo mejor

(16) Los datos publicados por los alemanes y los del Proyecto de Arqueometalurgia de la Península Ibérica no son homologables estadísticamente, además no hay seguridad de estar comparando los mismos parámetros ya que bastantes análisis de materiales portugueses están realizados sobre la pátina y no sobre el metal. Tampoco parece que se tenga en cuenta en cada elemento los límites de detección en cada laboratorio.

es juntar el máximo de datos posible junto al máximo de conocimiento general y específico (Preucel y Hodder 1996).

En el caso del Proyecto Odiel (Nocete 2004), el esfuerzo por buscar nuevos datos y extraer la máxima información al registro arqueológico para plantear la importancia de la especialización metalúrgica y su impacto ambiental, choca con la falta de un análisis crítico global de cada una de las informaciones manejadas al margen de su contexto. Por un lado se argumenta sobre la complejidad tecnológica y especialización de la metalurgia por la existencia de “*toberas*”, identificando como tal a una cerámica que por forma y tamaño no puede cumplir esa función, sin incluir ningún dato que demuestre su viabilidad de uso. Por otra parte, se argumenta que esa actividad metalúrgica intensa es causante de una deforestación porque el registro polínico muestra una degradación del entorno vegetal del yacimiento. Teniendo en cuenta el escaso porcentaje de polen arbóreo inicial, las variaciones representadas en la gráfica 15.6 (p. 338) muestran que la fase 2 es la de menor presencia, con un incremento en la fase 3 y posterior aumento en la fase 4. Al no discutirse la validez y representatividad de los datos, así como la coherencia de la secuencia interna del muestreo polínico (17) con las fases de producción metalúrgica, nos encontramos con la paradoja de que en la fase de mayor actividad, la 3 (18), se produce un incremento de la vegetación arbórea en relación a las fases anteriores ¿Cómo puede producirse un incremento, aunque ligero, de árboles cuando la presión productiva que ha causado la deforestación es aún elevada? Se tiende a sobredimensionar la representatividad de la muestra polínica obtenida a pesar de los problemas de muestreo y su resultado se extrapola a toda una región, cuando sólo tiene valor local (no es lo mismo hablar de un clareado de la vegetación en el entorno de un hábitat, que de la deforestación en la región) y ni siquiera está contrastada con otras secuencias dentro del propio yacimiento. Y por último, el argumento de la contaminación de las aguas como consecuencia de la

(17) La información procede únicamente de dos perfiles (corte 2 y corte 3), pero el último de ellos, según indica el informe (Ruiz Sánchez 2004: 238), presenta un escaso número de granos de polen. Además se menciona contaminación y ausencia o escasez de polen en ciertas unidades del corte 2 por diversos factores que afectan a la representatividad general que pueda ofrecer el perfil.

(18) Los autores señalan que la uniformidad en la producción de cobre entre las fases 1, 2 y 3 es aparente porque se produce «*un proceso creciente de diversificación de producción y eficiencia metalúrgica*» (Nocete *et al.* 2004: 295).

actividad minera y metalúrgica, no analiza el valor real de los datos originales publicados. En el artículo de Leblanc *et al.* (2000) se menciona que esa contaminación refleja fielmente la presencia de todos los elementos existentes en la mineralogía de la zona (incluidos oro y estaño) y procede de minerales primarios (sulfuros). Por tanto, no hay un proceso selectivo de contaminantes que la minería del cobre, única practicada en ese momento en la zona debiera haber producido, y por otra parte la metalurgia de Cabezo Juré está basada en los minerales secundarios (19) y no los primarios, siendo estos últimos los que se detectan en los sedimentos estudiados. Por tanto se atribuye a la acción humana (la metalurgia) lo que algunos factores de arrastre por circunstancias a determinar produjeron.

Estas ideas en su conjunto producen una aparente argumentación sólida, pero analizadas en detalle se observa que la interpretación de cada una de ellas se ha llevado mas allá de lo que los datos reales sustentan.

No hay que olvidar que algunos estudios arqueométricos son pioneros en cuestiones metodológicas y en consecuencia, por su novedad, en ocasiones todos los factores de contexto explicativo no están suficientemente contemplados o comprobados. Los datos por sí mismos no demuestran nada, únicamente indican una realidad que debe ser explicada. Un caso singular y extremo es el de la identificación de una ofrenda floral en la sepultura Neanderthal de Shanidar. En este caso el especialista, Leroi Gourhan (1975), es el que ofrece una explicación a los datos dentro de unas circunstancias contextuales aparentemente conocidas: la presencia de polen de flores en este enterramiento sólo puede explicarse por causas antrópicas, dando una nueva dimensión simbólica al comportamiento de los Neanderthales. Sin embargo, posteriormente Sommer (1999) encontró una explicación alternativa, atribuyendo la aportación del polen a un tipo de roedor también identificado entre los restos de la cueva, cambiando de manera radical la interpretación y sus implicaciones culturales.

Estos problemas de interpretación expuestos se resuelven parcialmente con una mayor formación de base del arqueólogo en las diferentes técnicas y análisis que pueden utilizarse en arqueología, pero

(19) Según el estudio de las escorias de Nocete *et al.* (2004: 280) se usaron mineralizaciones de la zona de enriquecimiento supergénico y además se señala que estas menas cupríferas en las zonas de enriquecimiento supergénico fueron selectivamente explotadas a partir del III milenio ANE (Nocete *et al.* 2004: 274).

sobre todo y especialmente cuando se trata de proyectos amplios, con un verdadero trabajo interdisciplinar y no con la yuxtaposición de informaciones o investigadores (De Atley y Bishop 1991: 360, Vila y Estévez 1989: 278). También es clave la existencia de centros especializados y con experiencia arqueométrica que sirvan como punto de referencia a los arqueólogos y donde se realice investigación y no sólo servicios, buscando una adecuada contrastación a las técnicas y métodos empleados y delimitando el alcance interpretativo real de los datos a partir tanto de las condiciones de análisis, como de la recuperación del registro arqueológico y de sus procesos de formación y deposición (Marciniak y Rackowski 2001: 14). Un excelente ejemplo de esta actitud es el trabajo de Bernabeu *et al.* (1999) planteado para resolver problemas de fiabilidad de los contextos arqueológicos en el Neolítico. En él se consigue confirmar los problemas de contaminación y se sugieren explicaciones postdeposicionales, ofreciendo vías de solución para el debate sobre la fiabilidad de los datos que sustentan las hipótesis de los procesos de neolitización en la Península Ibérica.

6. PERSPECTIVAS DE FUTURO

Nadie puede poner en duda la cantidad de información y datos que pueden extraerse del registro arqueológico hoy día y de las posibilidades de estudio y documentación del mismo con las técnicas disponibles. Esa información resulta básica en la demostración y clarificación de las hipótesis arqueológicas. Por tanto y en definitiva, el futuro más inmediato de la Arqueometría va a depender de la actitud más o menos crítica que la propia comunidad arqueológica tome hacia las aproximaciones de base experimental, la cual va a decidir en buena medida la clase de datos que se van a generar y el valor de los mismos en las interpretaciones y síntesis arqueológicas de las próximas décadas (Ehrenreich 1995).

Sin embargo, para garantizar el éxito en este desarrollo y evitar definiciones como la de Dunnell (1993: 161-165) en la que se considera a la Arqueometría como algo “*sometimes interesting, largely irrelevant and definitely optional endeavour*”, son imprescindibles dos requisitos:

1. Por un lado la necesidad de formación en todos los niveles. Desde la creación de especialistas, responsables de la obtención de datos y de su vali-

dez interpretativa, a una mayor formación de base de los arqueólogos e historiadores, principales destinatarios de la información analítica y orientadores de las líneas y problemas de investigación a desarrollar.

2. En segundo lugar es absolutamente necesario que se produzca un mayor reconocimiento institucional de la Arqueometría, tanto en las universidades como en los centros públicos de investigación, en donde no sólo los profesionales de las humanidades y de las ciencias tengan cabida reconociéndose sus diferentes configuraciones curriculares, sino que el reconocimiento también venga acompañado de una fuerte inversión económica en personal cualificado y en equipamientos científicos que legitimen, de una vez por todas, la Arqueometría como área de conocimiento de la arqueología (20). En este sentido, quizás convendría recordar que el importante proceso de desarrollo y expansión experimentado por la Arqueometría en el Reino Unido entre los años 1976 y 1994 se debió en gran parte a las fuertes inversiones que el *Science-based Archaeology Committee (SBAC)* ubicado, no lo olvidemos, en un organismo de ciencias como era el *Science and Engineering Research Council*, realizó en ese periodo y que contó con un presupuesto anual de 50.000 libras, que ascendió al final de los ochenta hasta el millón de libras por año de las de entonces (Bailey y Heron 1998: 138). Con una inversión de este calibre lo raro hubiera sido que la Arqueometría no hubiera despegado en el Reino Unido en este último periodo de expansión.

Ahora bien, las perspectivas reales para el desarrollo de la Arqueometría en España son escasas ya que si bien, se reconoce la formación en arqueología científica como una de las necesidades para la formación de arqueólogos en la universidad española (Ruiz Zapatero 2005: fig 3), sin embargo, en la justificación de la necesidad de un título de arqueología se asume que sería posible con los medios humanos existentes. En nuestra opinión si esta propuesta de coste cero fuese la línea a seguir, se mantendría el déficit formativo debido a la escasa implantación en la Universidad española de la investigación en Arqueometría, al tiempo que

(20) Podría ser parecido a lo que ocurre en economía con un área de conocimiento diferenciada como es la Econometría, la cual es reconocida institucionalmente con el código Unesco 5302. Este problema de reconocimiento y de las dificultades de formación en Arqueometría fueron discutidas en la reunión anual de la Sociedad de Arqueología Americana celebrada en Salt Lake City en 2005 bajo el título *Bridging the gap: integrating Archaeological Science and Archaeology* (Lengyel y Margaris 2005).

no se proporcionaría el reconocimiento demandado e imposibilitaría la formación de nuevos especialistas. Las cifras aportadas por Cordero *et al.* (2006) sobre la investigación de cerámica con orientación arqueométrica y los comentarios sobre la Arqueometría en general en las universidades andaluzas son evidentes de esta falta de implantación y de la ausencia de profesorado especializado que, salvo excepciones, son generalizables a toda España.

El problema de inversión debería centrarse en la creación y dotación de personal de centros especializados con orientación arqueométrica prioritaria. Hoy por hoy los esfuerzos de investigación se concentran principalmente en dotación de proyectos que solicitan servicios de análisis, y apenas se destinan fondos para una investigación básica orientada a mejorar la calidad de los datos y a comprender su alcance y valor explicativo en función de las condiciones de recogida y procesos de formación del registro arqueológico del que proceden, puesto que apenas hay personal e instituciones con capacidad para realizar esta tarea. Por otra parte, la oferta de servicios se está convirtiendo en obligatoria para los centros de investigación, que necesitan justificar sus inversiones de equipamiento y su función. En otras palabras, aunque la oferta de servicios de Arqueometría está aumentando, no está acompañada de la correspondiente investigación en Arqueometría.

El resultado final, ya perceptible, es que se está dejando pasar la oportunidad de reorientar la investigación arqueológica, plantear nuevas perspectivas y buscar nuevas formulaciones al objeto de estudio de la arqueología. La Arqueometría ofrece esta posibilidad a los investigadores, independientemente de las corrientes teóricas que se encuentren en la base de los diferentes proyectos y ámbitos de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ADRIAENS, A., DEGRIGNY, C. y CASSAR, J.A. (eds.) 2005: *Benefits of non-Destructive Analytical Techniques for Conservation*. European Commission EUR 21636 EN. Brussels.
- AITKEN, M. J. 1961: *Physics and Archaeology*. Interscience, New York.
- 1982: "Archaeometry does not only serve Archaeology". En J.S. Olin (ed.): *Future Directions in Archaeometry. A Round Table*, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.: 61.
- ALTUNA, J. 1995: "Visió històrica de l'arqueozoologia a la Península Ibèrica". *Cota Zero* 11: 8-12.

- AMBROSE, W.R. 1998: "Archaeometry and AINSE". En *AINSE 40th Anniversary Conference Proceedings*. [Http://www.ansto.gov.au/ainse/40th.pdf](http://www.ansto.gov.au/ainse/40th.pdf)
- ANDERSON, A. 1987: "Supertramp science: some thoughts on archaeometry and archaeology in Oceania". En W. Ambrose (ed.): *Archaeometry: Further Australasian Studies*: 3-17. Department of Prehistory, Australian National University, Canberra,
- BAILEY, J. y HERON, C. 1998: "Archaeological Science in the UK: current trends and future prospects". *Revue d'Archéométrie* 22: 137-140.
- BECK, C.W. 1985: "Trouble in the hedgerows". *Journal of Archaeological Science* 12: 405-409.
- BERNABEU, J., PÉREZ RIPOLL, M. y MARTINEZ VALLE, R. 1999: "Huesos, neolitización y contextos arqueológicos aparentes". *II Congrès del Neolític a la Península Ibérica, Valencia, 7-9 abril, 1999. Saguntum-PLAV*, Extra, 2: 589-596.
- BISHOP, R.L. y LANGE, F.W. (eds.) 1991: *The Ceramic Legacy of Anna O. Shepard*. University Press of Colorado, Niwot.
- CARRASCO, J., PACHÓN, J.A., ESQUIVEL, J.A. y ARANDA, G. 1999: "Clasificación secuencial tecnológica de las fíbulas de codo de la Península Ibérica". *Complutum* 10: 123-142.
- CORDERO, T., GARCÍA SANJUÁN, L., HURTADO, V., MARTÍN RAMÍREZ, J.M., POLVORINOS DEL RÍO, A. y TAYLOR, R. 2006: "La arqueometría de materiales cerámicos: una evaluación de la experiencia andaluza". *Trabajos de Prehistoria* 63 (1): 9-35.
- COTTER, M. y COTTER, S. 2003: "The probable industrial origin of archaeological daub at an Iron Age site in Northeast Thailand (Parr and Boyd 2002): a comment on the inappropriate application of Geophysical and Geochemical techniques to an archaeological question". *Geoarchaeology* 18(8): 883-893.
- CRADDOCK, P. 1991: "The emergence of scientific inquiry into the past". En S. Bowman (ed.): *Science and the Past*. British Museum Press, Londres: 9-15.
- DE ATLEY, S.P. y BISHOP, R.L. 1991: "Toward an integrated interface for Archaeology and Archaeometry". En R.L. Bishop y F.W. Lange (eds.): *The Ceramic Legacy of Anna O. Shepard*. University Press of Colorado, Niwot: 358-380.
- DEMORTIER, G. y ADRIAENS, A. (ed.) 2000: *Ion Beam Study of Art and Archaeological Objects*. European Commission EUR19218. Action COST G1. Brussels.
- DUNNEL, R.C. 1993: "Why archaeologists don't care about Archaeometry?". *Archaeomaterials* 7 (1): 161-165.
- EDWARDS, K.J. 1983: "Editorial: anatomy of a publication. The Journal of Archaeological Science, the first nine years". *Journal of Archaeological Science* 10: 413-421.
- EHRENREICH, R.M. 1995: "Archaeometry into Archaeology". *Journal of Archaeological Method and Theory* 2 (1): 1-6.
- GARCÍA HERAS, M. 2003: "Malos tiempos para la lírica. ¿Hay todavía futuro para la arqueología científica en la universidad española?". *Complutum* 14: 7-18.
- GOODWAY, M. 1991: "Archaeometallurgy: evidence of a paradigm shift?". En P.B. Vandiver, J. Druzik y G.S. Wheeler (eds.): *Materials Issues in Art and Archaeology II (San Francisco 1990)*. Materials Research Society Symposium Proceedings, vol. 185, Pittsburgh (Pennsylvania): 705-712.
- JENKINS, R. 1999: *X-ray Fluorescence Spectrometry. Chemical Analysis: A Series of Monographs on Analytical Chemistry and Its Applications*, vol. 152. Wiley-Interscience.
- JONES, R. 1982: "Ions and Eons: some thoughts on archaeological science and scientific archaeology". En W. Ambrose y P. Duerden (eds.): *Archaeometry: An Australasian Perspective*: 22-34. Research School of Pacific Studies, Australian National University, Canberra.
- JONES, M. D. 2001: "Lies, damn lies and statistics" En M. Jones y P. Sheppard (eds): *Australasian Connections and New Directions. Proceedings of the 7th Australasian Archaeometry Conference*: 171-180. Research in Anthropology & Linguistics 5. Department of Anthropology, University of Auckland, Auckland.
- JUNGHANS, S., SANGMEISTER, E. y SCHRÖDER, M. (1960): *Metallanalysen Kuperzeitlicher und frühbronzezeitlicher Bodenfundstücke aus Europa*. S.A.M., I. Berlin.
- KARS, H. y BURKE, E. (eds.) 2005: *Proceedings of the 33rd International Symposium on Archaeometry*. Vrije Universiteit, Amsterdam.
- KESHET, A. 2006: "Extracting the past through Archaeometry. Exploring the interplay between physics and archaeology". *Canadian Undergraduate Physics Journal* IV(2): 16-18.
- LANGOUET, L. 1982: "Connections between Archaeometry and Archaeology". En J.S. Olin (ed.): *Future Directions in Archaeometry. A Round Table*, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.: 52-54.
- LEBLANC, M., MORALES, J.A., BORREGO, J. y ELBAZ-POULICHET, F. 2000: "4500 year old mining pollution in Southwestern Spain: long-term implications for modern mining pollution". *Economic Geology* 95: 655-662.
- LENGYELD, S. y MARGARIS, A. 2005: " Bridging the gap: integrating Archaeological Science and Archaeology" *SAS Society for Archaeological Sciences Bulletin* 28(1/2): 5-8.
- LEROI-GOURHAN, A. 1975: "The flowers found with Shanidar IV, a Neanderthal Burial in Iraq". *Science* 190: 562-564.
- LEUTE, U. 1987: *Archaeometry. An Introduction to Physical Methods in Archaeology and the History of Art*. VCH eds., New York.
- LÓPEZ GARCÍA, P., LÓPEZ SAÉZ, J.A. y MACÍAS, R.

- 2002: "La Paleopalinología en el Laboratorio de Arqueobotánica del Departamento de Prehistoria. Instituto de Historia, CSIC: 1977-2002". *Trabajos de Prehistoria* 59(1): 143-156.
- MARCINIAK, A. y RACZKOWSKI, W. 2001: "Archaeology and archaeological science: past, present and future". *Archaeologia Polona* 39: 5-16
- McGOVERN, P.E. (ed.) 1995: "Science in Archaeology: a review". *American Journal of Archaeology* 99 (1): 79-142.
- MORALES, A. 1990: "Arqueozoología teórica: usos y abusos reflejados en la interpretación de las asociaciones de fauna en yacimientos antrópicos". *Trabajos de Prehistoria* 47: 251-290.
- NEFF, H. (ed.) 1992: *Chemical Characterization of Ceramic Pastes in Archaeology*. Prehistory Press, Monographs in World Archaeology 7, Madison (Wisconsin).
- NOCETE, F. (coord.) 2004: *Odiel : proyecto de investigación arqueológica para el análisis del origen de la desigualdad social en el suroeste de la península Ibérica*. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura, Sevilla.
- NOCETE, F., SÁEZ RAMOS, R. y NIETO, J.M. 2004: "La producción de cobre en Cabezo Juré: estudio químico, mineralógico y contextual de escorias". En F. Nocete (coord.): *Odiel : proyecto de investigación arqueológica para el análisis del origen de la desigualdad social en el suroeste de la península Ibérica*. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura, Sevilla: 273-295.
- O'BRIEN, M. J., LYMAN, R. L. y SCHIFFER, M.B. 2005: *Archaeology as a Process: Processualism and its Progeny*. University of Utah Press, Salt Lake City (Utah).
- OLIN J.S. (ed.) 1982: *Future Directions in Archaeometry. A Round Table*. Smithsonian Institution Press, Washington D.C.
- OTTO, H. y WITTER, W. 1952: *Handbuch der ältesten vorgeschichtlichen metallurgie in mittteleuropa*. Barth Verlag. Leipzig.
- PARR, J.F. y BOYD, W.E. 2002: "The probable industrial origin of archaeological daub at an Iron Age site in Northeast Thailand". *Geoarchaeology* 17: 285-303.
- PEARSALL, D.M. 1989: *Paleoethnobotany. A Handbook of Procedures*. Academic Press, New York.
- PERNICKA, E. 1998: "Whiter metal analysis in archaeology?". En C. Mordant, M. Pernot, V. Rychner (eds.): *L'atelier du bronzier en Europe du XX au VIII siècle avant notre ère. Actes du colloque international Bronze '96 Neuchâtel et Dijon, I: Les analyses de composition du métal: leur apport à l'archéologie de l'Âge du Bronze*. Paris, CTHS: 259-267
- PITTIONI, R. 1959: "Zweck und ziel spektralanalytischer untersuchungen für die uegeschichte des kupferberwesens". *Archaeologia Austriaca*, 26: 67-95.
- POLLARD, A.M. y HERON, C. 1996: *Archaeological Chemistry*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- PREUCCEL, R. y HODDER, I. 1996: "Communicating present past". En R. Preucel e I. Hodder (eds.): *Contemporary Archaeology in Theory*. Blackwell, Oxford.
- REITZ, E.J. y WING, E.S. 1999: *Zooarchaeology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- RENFREW, J.M. 1973: *Palaeoethnobotany. The Prehistoric Food Plants of the Near East and Europe*. Methuen & Co. Ltd., London.
- RUIZ SÁNCHEZ, V. 2004: "Estudio palinológico del yacimiento arqueológico de Cabezo Juré (Alonso, Huelva)". En F. Nocete (coord.): *Odiel : proyecto de investigación arqueológica para el análisis del origen de la desigualdad social en el suroeste de la península Ibérica*. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura, Sevilla: 233-239.
- RUIZ ZAPATERO, G. 2005: "¿Por qué necesitamos una titulación de arqueología en el siglo XXI?". *Complutum* 16: 255-270.
- RYON, R.W. 2001: "The transistor and energy-dispersive x-ray spectrometry: roots and milestones in X-ray analysis". *X-ray Spectrometry* 30: 361-372.
- SAYRE, E.V. y DODSON, R.W. 1957: "Neutron Activation study of Mediterranean potsherds". *American Journal of Archaeology* 61: 35-41.
- SEASE, C. 1995: "Archaeological conservation". En P.E. McGovern (ed.): *Science in Archaeology: a review*. American Journal of Archaeology 99 (1): 139-142.
- SMITH, C.S. 1982: "Measurement and History". En J.S. Olin (ed.): *Future Directions in Archaeometry. A Round Table*, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.: 49-51.
- SOBOLIK, K.D. 2003: *Archaeobiology*. Altamira Press, New York.
- SOMMER, J.D. 1999: "The Shanidar IV "Flower Burial": a reevaluation of Neanderthal burial ritual". *Cambridge Archaeological Journal* 9: 127-129.
- TAYLOR, R.E. 1982: "Archaeometry: the meaning of the term". En J.S. Olin (ed.): *Future Directions in Archaeometry. A Round Table*, Smithsonian Institution Press, Washington D.C.: 25-26.
- TITE, M.S. 1972: *Methods of Physical Examination in Archaeology*. Seminar Press, London.
- 1991: "Archaeological Science – Past achievements and future prospects". *Archaeometry* 33(2): 139-151.
- TRIGGER, B.G. 1989: *A History of Archaeological Thought*. Cambridge University Press, Cambridge.
- VAN ZELST, L. 1991: "Archaeometry: the perspective of an administrator". En R.L. Bishop y F. W. Lange (eds.): *The Ceramic Legacy of Anna O. Shepard*. University Press of Colorado, Niwot: 346-357.
- VILA, A. y ESTÉVEZ, J. 1989: "Sola ante el peligro: La Arqueología ante las ciencias auxiliares". *Archivo Español de Arqueología* 62: 272-278.
- WIDEMANN, F. 1982: "Why is Archaeometry so boring for archaeologists?" En J.S. Olin y A.D. Franklin (eds.): *Archaeological Ceramics*. Smithsonian Institution Press, Washington D.C.: 29-36.