

Estudio arqueomagnético de seis estructuras en el castro de Chao Samartín, Asturias.

Archaeomagnetic study of six structures from Chao Samartin Fort, Asturias.

F.J. Pavón Carrasco^(1,2), V.C. Ruiz-Martínez⁽¹⁾, G. Catanzariti⁽¹⁾, R. Montes López⁽³⁾ y A. Villa Valdés^(3*)

⁽¹⁾ Dpto. Física de la Tierra I: Geofísica y Meteorología. Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, fjpavon@fis.ucm.es

⁽²⁾ Instituto Geográfico Nacional, C/General Ibáñez de Ibero, 3, 28003 Madrid.

⁽³⁾ Plan Arqueológico Cuenca del Navia. Servicio de Patrimonio Histórico y Cultural. Consejería de Cultura del Principado de Asturias. ^(3*) Director.

SUMMARY

This study addresses the absence of archaeomagnetic directional data from the NW of Iberia in the Secular Variation Curve for Iberia (SVC-I). The lithology of the archaeological structures from this zone also differs from those of the rest of the Peninsula. An archaeomagnetic study has been conducted in Castro Chao Samartín (concejo de Grandas de Salime, Asturias). Archaeological considerations indicate the site was occupied from the 8th centuries BC up until the 2nd century AD. A total of 52 samples from 7 different structures (one oven, four hearths and one sauna with two unknown different periods of use). The objectives of the study are: (i) to compare the results with those of the same age from the southern part of the Peninsula and with the radiometric dating, and (ii) to study the properties of the different lithologies (adobe, quartzites and slates) before similar heatings. Laboratory analysis includes stepwise demagnetisation of NRM, susceptibility vs temperature and rock magnetic studies. Site-mean characteristic directions have calculated following the hierarchical structure, applying fisherian distribution tests. Besides resolving the sense of the thermal gradient in one of the hearths, comparison of the results obtained with SVC-I has served to detect problems of magnetic anisotropy in slates (due to their high foliation, mainly affecting inclination records) and to validate the archaeological dating of the remaining lithologies. The results provide the first archaeomagnetic directions for the SVC-I from the northwestern Iberian Peninsula.

1. INTRODUCCIÓN

El arqueomagnetismo, o como podría llamarse también paleomagnetismo "Histórico", analiza las variaciones del campo geomagnético basándose en el análisis de estructuras arqueológicas. Para ello es necesario que estas estructuras cumplan condiciones arqueomagnéticas, es decir, que hayan sufrido un calentamiento y posterior enfriamiento durante o después de su formación; y que a lo largo del tiempo hasta su muestreo haya permanecido "in situ", ya que un basculeo de las mismas pueden producir cambios importantes en la dirección del campo magnético.

El hecho de que sean estructuras calentadas se debe a que en su mayoría los materiales de interés arqueomagnético contienen trazas de minerales ferromagnéticos (óxidos de hierro) que se iman en la dirección del campo geomagnético que existe durante su último enfriamiento. Son de interés lugares que por su construcción o utilidad hayan sufrido calentamientos, como es el caso de hornos, hogares, termas... o lugares calentados de forma accidental, como incendios en paredes y suelos.

La forma de adquisición de dicha imanación es de origen térmico (termorremanencia), pues al calentarse la estructura a temperaturas superiores de la Curie, se elimina cualquier resto de orientación magnética y al enfriarse en presencia del campo geomagnético hasta una temperatura inferior de la de bloqueo, se reorientan en la dirección del mismo, quedando ésta "grabada" en la estructura.

La variación espacio-temporal del campo geomagnético (de origen interno) de largo período se denomina variación secular (VS), que en el caso de ser analizada durante períodos Históricos, se llama curva de variación Paleosecular (CVPS). Para la construcción de esta curva además de verificarse las condiciones arqueomagnéticas expuestas anteriormente, es necesario que las estructuras estén datadas cronológicamente.

En este trabajo se pretende aportar nuevos datos al catálogo de direcciones arqueomagnéticas en la Península Ibérica (Gómez-Paccard et al., 2006a), construyéndose así la CVPS para Iberia, que será de utilidad para la datación de yacimientos arqueológicos. La

obtención de nuevas direcciones arqueomagnéticas en el norte peninsular intentará paliar la ausencia de datos a estas latitudes.

2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y MUESTREO

El castro Chao Samartín, habitado desde el siglo VIII a.C. hasta la segunda mitad del siglo II de nuestra Era y situado en el concejo de Grandas de Salime (Principado de Asturias), ha sido objeto de estudio. En el se ha encontrado tres tipos de estructuras de interés arqueomagnético: hornos, hogares y termas. Para ello, se han muestreado en siete lugares distintos un total de 52 muestras. Corresponden a cuatro hogares: dos pétreos (C-4B y C-10B), uno latericio (C-15B) y otro mixto (C-22B); un horno de uso doméstico (C-18B) y a una sauna (Figura 1) con dos períodos temporales de uso distinto (T y TFE), ver Tabla 1.



Figura 1 – Sauna. (Sauna)

El último uso de todas estas estructuras (a excepción del hogar mixto C-22B y la sauna TFE) se ha podido datar, según criterios arqueológicos, en torno a la segunda mitad o tercer cuarto del siglo II d.C. Del hogar C-22B se piensa que su último uso pudo ser anterior a las demás estructuras. En cuanto a la sauna TFE, podríamos situar el inicio de su uso en la segunda Edad de Hierro (Siglos IV-II a.C) y tras el análisis de material orgánico encontrado en la misma, se ha aportado fechas calibradas (radiométricamente) entre el 62 a.C. y el 84 d.C. (al 90.5 %) (C.S.I.C. 1776) para su último uso.

Tabla 1 – Estructuras muestreadas (Samples)

Sitios	Nº muestras
Hogar C-22B	10
Hogar C-15B	3 + ladrillo
Horno C-18B	8
Hogar C-4B	8
Hogar C-10B	8
Sauna T	7
Sauna TFE	8

La litología encontrada corresponde a adobes, cuarcitas y a pizarras, siendo estas dos últimas muy poco usual en el estudio arqueomagnético.

Para mantener la posición original de las muestras cilíndricas, éstas se han orientado “in situ” mediante la brújula magnética, a la que se aplicó la posterior corrección por declinación magnética del lugar, una brújula solar y un inclinómetro.

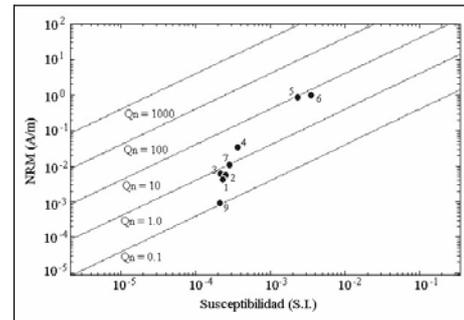
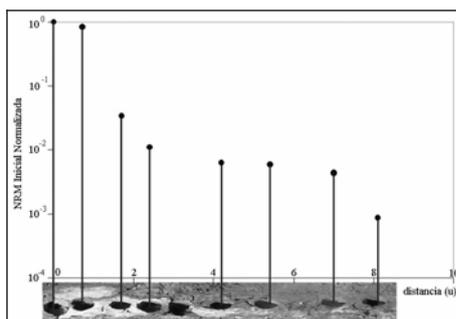
3. METODOLOGÍA.

Tras el preparado de los especímenes se ha iniciado su estudio en el laboratorio de Paleomagnetismo de la UCM y de la Universidad de Burgos. En un primer análisis, se ha medido su imanación remanente natural (NRM) inicial, mediante un magnetómetro Molspin JR5, y la susceptibilidad de las mismas (mediante el medidor Kappabridge, KLY3) con el objetivo de evaluar la termorremanencia y obtener los coeficientes de Koenigsberger (Stacey, 1967) que indican el nivel de calentamiento al que han sido sometido las muestras.

Los hogares pétreos C-4B y C-10B presentan un gradiente térmico, debido a la posición, de menor a mayor distancia, de las muestras respecto al foco de calor. Ello hace que las muestras más cercanas al foco presenten una termorremanencia total, mientras que a medida que nos alejamos, aparece una termorremanencia parcial, que posteriormente será analizada. Ello queda reflejado en la caída exponencial de la NRM inicial a medida que nos alejamos del foco de calor (Figura 2a) o también en los valores de los coeficientes de Koenigsberger (Q_n), donde se observa que las muestras más quemadas tienen un valor de Q_n mayor que las menos afectadas por la termorremanencia (Figura 2b).

Se ha visualizado la NRM inicial, representándola en diagramas de igual área, para analizar la dispersión de las mismas y elegir unas muestras pilotos.

Dichas muestras piloto se han tomado de cada sitio y de cada litología, para analizarlas de forma detallada. Se han desimanado la mayoría térmicamente (calentadas con horno desimanador térmico Schonstedt TSD-1) y el resto por campos alternos decrecientes. Tras el estudio de las caídas de intensidad frente a la temperatura, de los diagramas ortogonales (diagramas de Zijderveld) y de igual área, se han establecido unos pasos de desimanación térmica para el resto de las muestras hasta un máximo de temperatura entorno a los 600°C, donde el 85-90% de la NRM es eliminada. Durante la desimanación se han realizado medidas de la susceptibilidad para detectar posibles cambios mineralógicos en las muestras, con resultado negativo.



Figuras 2a y 2b – NRM inicial vs distancia (2a, abajo izquierda) y coeficientes de Koenigsberger (2b, arriba) para el hogar C-4B. (Initial NRM vs distance (2a, left down) and Koenigsberger ratio (2b, up) for the hearth C-4B)

En la Figura 3 podemos ver los diagramas ortogonales para tres de los sitios analizados:

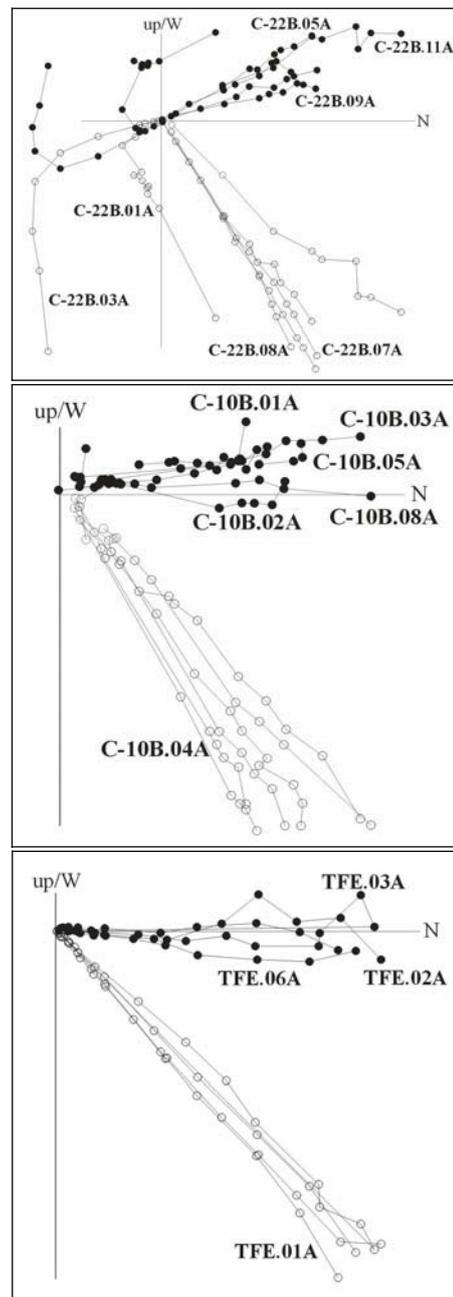


Figura 3 – Diagramas ortogonales para los hogares C-22B (superior), C-10B (medio) y la sauna TFE (inferior), puntos sólidos/huecos: proyecciones en el plano horizontal/vertical. (Orthogonal plots for the hearths C-22B (up), C-10B (middle) and the sauna TFE (down), solid/open points: projections in the horizontal/vertical plane).

Tras la representación de los diagramas de desimanciación térmica (NRM vs temperatura) se observa dos tipos de termorremanencia adquirida por las muestras:

En primer caso, vemos que en la mayoría de las muestras se presenta una termorremanencia total caracterizando a la caída de intensidad en una sola fase (Figura 4, a) o componente. En estos casos las temperaturas de desbloqueo rondan los 570°C, indicando la presencia de magnetita en dichas muestras; mientras que para el hogar C-15B ha sido necesario calentarla a más de 600°C para que su NRM disminuya en más del 90% de la inicial, debido a posibles trazas de hematites. Se observa en algunos casos una componente de baja temperatura debida a reimanaciones viscosas.

El segundo tipo de termorremanencia térmica lo presentan los hogares C-4B y C-10B, donde aparece una termorremanencia parcial, con un solapamiento de fases en torno a los 320°C (Figura 4, b), cuya componente arqueomagnética (la componente de interés) es la de baja temperatura, siendo la de alta temperatura, una imanación adquirida en momentos anteriores. En el caso de la sauna T, algunas muestras presentan una componente de baja temperatura en la que la NRM decae en un 80% a temperaturas inferiores a los 200°C, debido a la presencia de goethita en ellas (Figura 4, c).

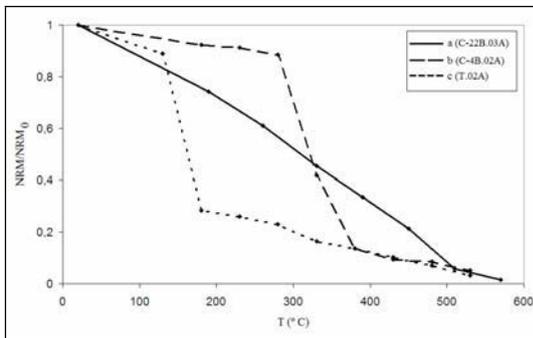


Figura 4 – Ejemplos de la caída de intensidad normalizada durante la desimanciación: a) termorremanencia total, b) y c) termorremanencia parcial. (Examples of thermal demagnetization: a) total thermoremanent, b) and c) partial thermoremanent)

Se ha realizado medidas de ciclos de histéresis, obteniendo buenos resultados para el caso de materiales lateríticos (como son los adobes, Figura 5), pero no tan buenos para los otros dos tipos de litologías (cuarcitas y pizarras) debido a que las medidas son del orden de la precisión del aparato de medida.

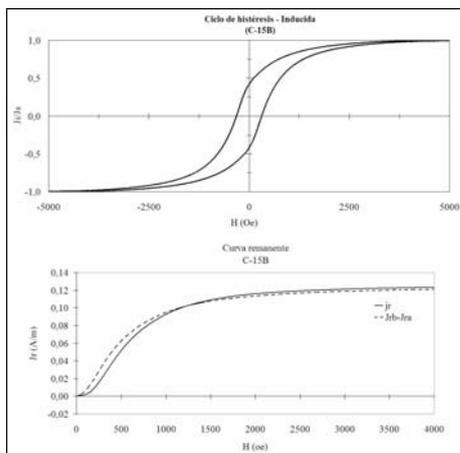


Figura 5 – Ciclo de histéresis inducido y remanente para una muestra de adobe del hogar C-15B. (Induced and remanent hysteresis cycle for an adobe sample of hearth C-15B)

Los parámetros obtenidos en dichas muestras representativas han sido trasladados a un diagrama de Day (Day et al., 1977) donde en el caso de los adobes, se obtienen valores coherentes con granos monodominio (SD) – multidominio (MD) de la curva teórica TM60 (Dunlop et al., 2002); mientras que para el caso de

pizarras nada puede decirse respecto a curvas teóricas ya que se evidencia la presencia simultánea de distintas fases magnéticas.

4. DIRECCIONES MEDIAS.

A través del análisis de la componente principal (en este caso, arqueomagnética) de las muestras (Kirchvinsk, 1980), o de su uso conjunto con círculos de reimanación (McFadden and McElhinny, 1988), se ha calculado la dirección media en cada sitio (ver figura 6), según la estadística de Fisher (Fisher, 1953). Para ello se ha seguido un orden jerárquico de espécimen – muestra independientemente orientada – estructura. Obteniéndose por tanto, para cada sitio el valor de la declinación e inclinación magnética y el semiángulo de confianza α_{95} y el parámetro de precisión k, ver Tabla 2, donde se añade también los valores de n/N, siendo n el número de especímenes y N el número de muestras independientemente orientadas que se incluyen en el cálculo de la dirección media.

Tabla 2 – Direcciones medias de cada sitio con los parámetros de confianza de la estadística de Fisher (Mean directions for each site and parameters of the Fisher's statistic)

Sitios	D °	I °	α_{95}	n/N	k
Hogar C-22B	340.7	55.4	5.2	8/10	250
Hogar C-15B	350.5	51.1	8.1	3/3	131
Horno C-18B	350.7	49.7	4.3	8/8	181
Hogar C-4B	351.1	53.0	6.5	6/8	109
Hogar C-10B	355.7	52.9	4.6	7/8	173
Sauna T	357.3	59.9	7.3	5/7	107
Sauna TFE	356.7	48.2	6.1	6/8	99

Los resultados direccionales de cada muestra pertenecientes a un sitio, han sido evaluados mediante el test de fisherianidad (simultáneamente para los valores de declinación e inclinación) para verificar si cumplen o no las condiciones establecidas por dicha distribución estadística, dando positivos en los siete sitios.

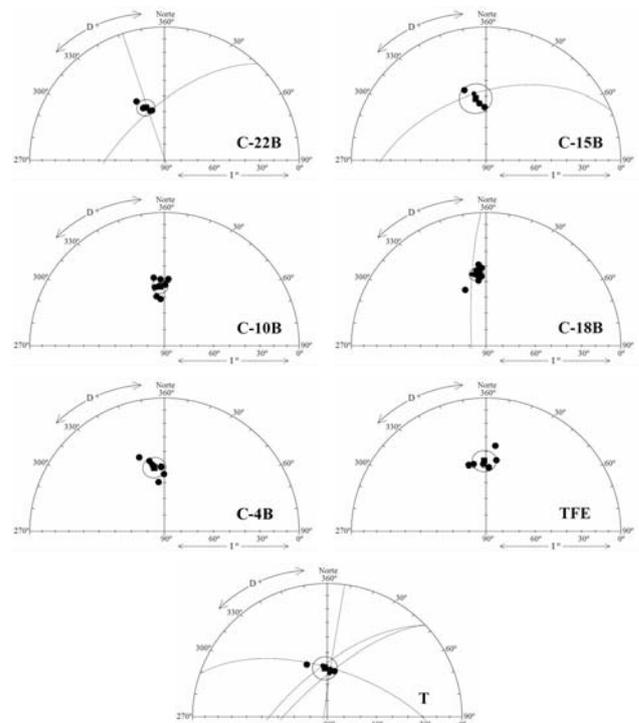


Figura 6 – Representación de igual área de las direcciones medias de cada sitio muestreado, declinaciones positivas hacia el Este, inclinaciones de 0 a 90° del exterior hacia el centro. (Equal-area projection plots of the mean directions for each site, positive declinations to the East and inclinations of 0 to 90° of the outside towards the center)

7. COMPARACIÓN CON LA CVPS DE IBERIA.

Conociendo las direcciones medias de los diferentes sitios y sus edades cronológicas, podemos evaluar dichos datos con la CVPS de Iberia (Gómez-Paccard et al., 2006b). Para ello es necesario trasladar los datos direccionales desde su posición geográfica (Chao Samartín: 43.20° N, 6.93° W) hasta las coordenadas donde se ha definido dicha curva, que es Madrid (40.4° N, 3.7° W). Para ello hay que aplicar la conversión vía polo (Noel y Batt, 1990), donde se supone un modelo dipolar del campo geomagnético, permitiendo trasladar coordenadas dentro de un área no mayor a los 10⁶ km² a través del "polo geomagnético virtual" del dipolo.

Tras dicha conversión, se han calculado los errores en inclinación y declinación; el primero viene dado directamente por el valor del semiángulo de confianza α_{95} , mientras que el error en declinación se obtiene a través de la expresión (Butler, 1992):

$$\Delta D = \arcsin\left(\frac{\sin \alpha_{95}}{\cos I}\right) \quad (1)$$

Se ha considerado en esta comparación que las estructuras muestreadas han tenido su último uso en el tercer cuarto del s. II d.C. (incluido el hogar mixto C-22B), menos la sauna TFE, con un rango temporal entre el 62 a.C. y el 84 d.C.

Los resultados se muestran en la Figura 7. En general se observa que las declinaciones e inclinaciones de las estructuras son coherentes con la gráfica de la curva de variación paleosecular de Iberia y su rango de incertidumbre.

En el caso del hogar C-22B, tenemos un valor de declinación más oeste del esperado, lo que da lugar a dos supuestos: si realmente es coetánea con el resto de estructuras, ésta no ha permanecido in situ a lo largo del tiempo hasta el muestreo; o bien, que su último enfriamiento, como indican los criterios arqueológicos, haya sido anterior al del resto de las estructuras del Chao.

Para la sauna TFE, observamos un valor de inclinación menor del que indica la CVPS, puede ser debido a la propia construcción de la estructura, ya que la alta foliación en las pizarras general un aplanamiento, "flattening", en la inclinación.

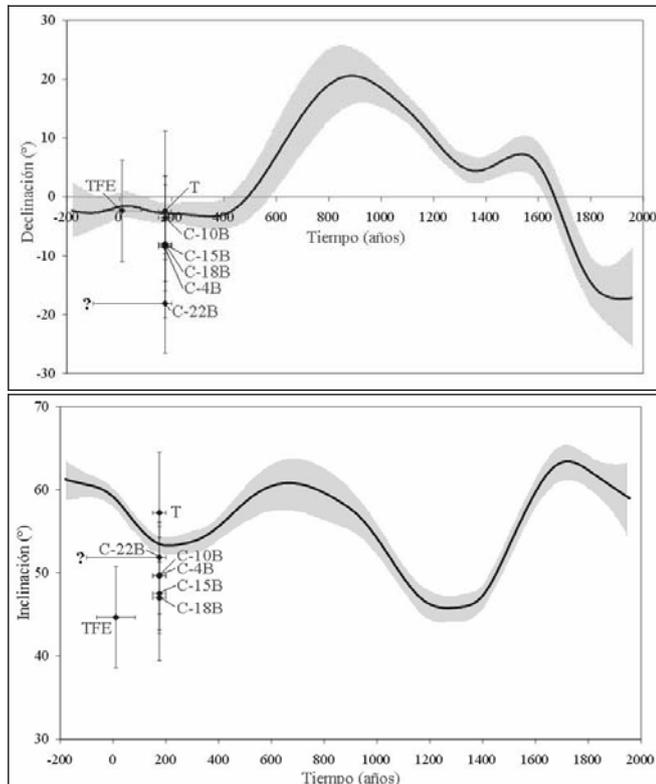


Figura 7 – Comparación de las direcciones medias con la CVPS de Iberia. (Comparison of the main directions with the Iberian PSVC)

5. CONCLUSIONES.

Para evaluar el efecto de la remanencia a altas temperaturas de materiales no usuales en arqueomagnetismo, se ha muestreado cerca del Chao estructuras de análogos litologías, mostrando que éstas presentan valores de intensidad de la imanación remanente natural y de susceptibilidad dos órdenes de magnitud menores a las quemadas.

Los minerales portadores de dicha termorremanencia en las estructuras latericias son magnetitas y titanomagnetitas, acumuladas en granos monodominio y multidominio. Mientras que en el caso de las pizarras y cuarcitas aparecen otras fases magnéticas. Hay que tener una atención especial a estructuras construidas con pizarras (o litologías con alto grado de foliación) ya que la anisotropía asociada puede generar desviaciones en la dirección del campo geomagnético.

Con este trabajo se aportan 6 nuevas direcciones en el período romano en el norte de Iberia, donde son escasos, para la construcción de la curva Paleosecular.

6. REFERENCIAS.

- Butler, R.F. (1992): "Paleomagnetism". *Blackwell Scientific Publications, Cambridge*, 315pp.
- Day, R., M. Fuller and V.A. Schmidt (1977): "Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence". *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **13**, 260 – 266.
- Dunlop, D.J. (2002): "Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hc/Hc). 1. Theoretical curves and tests using titanomagnetite data". *Journal of Geophysical Research*, **107**, B3, doi:10.1029/2001JB000487.
- Fisher, R.A. (1953): "Dispersion on a sphere". *Proc. Roy. Soc. London A*, **271** (295)
- Gómez-Paccard, M., G. Catanzariti, V.C. Ruiz-Martínez, G. McInosh, J.I. Núñez, M.L. Osete, Ph. Lanos, A. Chauvin, D.H. Tarling, D. Bernal-Casasola, J. Tiritó and archeological working group (A. Sáez-Espigares, I. García-Villanueva, J.A. Gisbert-Santona, M.A. Hervás, P. Jiménez-Castillo, M. Mesquida-García, I. García-Ramírez González, M. Retuerce, D. Urbina and C. Urquijo) (2006a): "A catalogue of Spanish archaeomagnetic data". *Geophysics Journal International*, **accepted**.
- Gómez-Paccard, M., Ph. Lanos, A. Chauvin, G. McInosh, M.L. Osete, G. Catanzariti, V.C. Ruiz-Martínez and J.I. Núñez (2006b): "The first Archaeomagnetic secular variation curve for the Iberian Peninsula. Comparison with other data from Western Europe and with global geomagnetic field models". *Geochemistry, Geophysics, Geosystem*, **submitted**.
- Kirchvisnks, J.L. (1980): "The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data". *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, **62**, 699 – 718.
- McFadden, P.L. and M.W. McElhinny (1988): "The combined analysis of remagnetization circles and direct observations in paleomagnetism". *Earth and Planetary Science Letters*, **87**, 161 – 172.
- Noel M. and C.M. Batt (1990): "A method for correcting geographically separated remanence directions for the purpose of archeomagnetic dating". *Geophysics Journal International*, **102**, 753 – 756.
- Stacey, F.D. (1967): "The Koenigsberger ratio and the nature of thermoremanence in igneous rocks". *Earth and Planetary Science Letters*, **2**, 67 – 68.
- Villa Valdés, A. (2000): "Saunas castreñas en Asturias". *II Coloquio de Arqueología en Gijón. Termas Romanas en el Occidente del Imperio*, Fernández Ochoa, C. y García Entero, V., Editoras.
- Villa Valdés, A. (2005): "El Castro Chao Samartín (Grandas de Salime, Asturias). Guía para su interpretación y visita, Grandas de Salime". *Ediciones de la Conserjería de Cultura, Principado de Asturias*, 136pp.