

Análisis estadístico de las orientaciones de los megalitos de la Península Ibérica

Statistical analysis of the Prehistoric Megaliths orientation in the Iberian Peninsula

A. César GONZÁLEZ GARCÍA

Departamento de Física Teórica, C-XI-608. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.
Carretera de Colmenar Km 15. 28049 Madrid.
c.gonzalezgarcia@uam.es

Recibido: 28-11-2008

Aceptado: 09-02-2009

RESUMEN

Actualmente disponemos de una gran base de datos sobre las orientaciones de los monumentos megalíticos en la Península Ibérica. Estos datos muestran aparentes similitudes para diferentes grupos en áreas diversas. Además, en numerosas ocasiones parecen ser compatibles con ciertos eventos astronómicos observados en el horizonte. Sin embargo, una interpretación adecuada requiere un primer nivel que es el intento de descartar una fuerte dosis de subjetividad a la hora de manipular los datos. En este artículo se muestra una aplicación de la técnica de Análisis por Componentes Principales a este problema. Esta técnica nos permite agrupar monumentos de acuerdo a este criterio estadístico. Además mostramos que se puede usar como un primer paso para discriminar entre diferentes alternativas de alineamiento astronómico.

PALABRAS CLAVE: *Megalitos. Astronomía megalítica. Metodología. Métodos Estadísticos.*

ABSTRACT

Nowadays, we benefit from a huge corpus of data on the orientations of Megalithic monuments in the Iberian Peninsula. These data present similarities for several groups of monuments in different areas. Many of these groups present orientations compatible with astronomical events happening in the horizon. However, a sound interpretation is missing and would require a level of analysis without the inherent subjectivity in this kind of studies. The present article presents the application to this data set of the Principal Component Analysis (PCA). This technique allows us to group several areas of monuments according to statistical criteria. Later, several models are included showing that PCA is a powerful tool to discriminate among possible candidates for the astronomical orientation.

KEY WORDS: *Megaliths. Megalithic astronomy. Methodology. Statistical methods.*

SUMARIO 1. Introducción. 2. Estadística básica. 3. Análisis por componentes principales. 4. Modelado.

1. Introducción

La Península Ibérica presenta un espacio rico en manifestaciones de arquitectura megalítica. Especialmente concentrados en ciertas áreas, estas manifestaciones aparecen sobre todo en el occidente, norte y sur peninsular, con claros vacíos hacia la parte oriental de la misma. Si bien las cronologías de los distintos monumentos megalíticos están actualmente en disputa y en revisión (M. Calado, comunicación personal), se constata una larga duración de la tradición de construir este tipo de monumentos, y en muchos casos reutilizarlos, en diversas épocas, desde el Neolítico medio y final hasta la Edad del Bronce. Esta disparidad de ambientes, tipologías y cronologías ha revertido en pocos estudios buscando generalidades de los megalitos en la Península, aparte de la obvia de su uso.

En las últimas décadas han aparecido numerosos estudios dedicados a investigar un aspecto particular de la arquitectura de las tumbas megalíticas, como es la orientación del eje principal de su entrada (ver Hoskin 2001 y Belmonte y Hoskin 2002 para una recopilación de los resultados de estos estudios). Actualmente disponemos de una base de datos extraordinaria, tomada principalmente por el profesor Michael Hoskin y sus colaboradores. En este trabajo se ha medido la orientación de dicha entrada y también la altura del horizonte en dicha dirección. La idea es ver si dicha orientación, medida en numerosas tumbas megalíticas pertenecientes a un mismo horizonte cultural, sigue algún patrón determinado o si, por el contrario, las orientaciones aparecen distribuidas de forma aleatoria. Lo que el profesor Hoskin y sus colaboradores han encontrado es que en numerosos casos dicha orientación dista mucho de ser aleatoria, pues en casi todos los casos estudiados encuentran una significativa concentración de las orientaciones en valores muy similares entre sí para las distintas estructuras funerarias de un mismo grupo.

Además, en numerosas ocasiones se puede postular que dada la no aleatoriedad de las orientaciones pudo existir una intencionalidad para dichas orientaciones. Motivaciones de tipo práctico pueden aparecer, como orientar según las curvas de nivel en donde está situado el megalito, orientar de manera que la iluminación en el interior sea óptima, orientar de manera que el interior quede resguardado de los vientos, u otro tipo de motivaciones, como orientaciones que respondan a marcadores de tipo topográfico concreto.

Marcar rutas de interés para la comunidad o poner en relación la localización del megalito con elementos característicos del paisaje, parecen más evidentes en ciertos casos, como por ejemplo la orientación del megalito de La Cueva de Menga hacia la Montaña de los Enamorados en Antequera que parece seguir esta relación, además de incorporar en dicha orientación algunos otros monumentos megalíticos del entorno. Sin embargo, algo que ha aparecido como una constante en los trabajos sobre las orientaciones de los megalitos, tanto en la Península Ibérica como fuera de ella, es la posible motivación astronómica (ver Belmonte y Hoskin 2002 para una reciente revisión del tema). Según esta hipótesis, la orientación de un megalito estaría relacionada con ciertos eventos astronómicos, en general la salida o puesta en el horizonte de ciertos astros o asterismos considerados de especial relevancia, ya sean el Sol, la Luna, algún planeta o ciertas estrellas. De esta manera, se suele argumentar que cuando existe un patrón muy definido de orientaciones para monumentos, ya sean estos megalíticos o no, en un área geográfica extensa que no sea reconciliable con motivaciones topográficas, la única manera de orientar el megalito cumpliendo con la norma sería usando métodos que empleen la regularidad de los ciclos astronómicos.

El siguiente paso sería el de interpretar dichas regularidades y su origen astronómico. En este sentido poner dicha información en su contexto arqueológico más amplio es fundamental. Un método, que creemos fructífero y que sin duda merece la pena seguir explotando en un futuro, es el uso de estos datos dentro de una perspectiva de arqueología del paisaje, tal vez incidiendo en su posible sentido ritual, ya sea como expresión de un cierto sentido de religiosidad, como forma de marcar ciclos calendáricos de interés, etcétera. Ya que en este volumen aparece un artículo dedicado precisamente a estas cuestiones no me extenderé más en ellas (García Quintela y González-García 2009).

Para realizar una lectura correcta de los datos en cualquier problema en que trabajemos con muestras de una población, hemos de recurrir a métodos estadísticos. Como queda dicho anteriormente, en la Península Ibérica M. Hoskin y sus colaboradores midieron cerca de un millar de orientaciones de tumbas megalíticas (Hoskin 2001). En el presente trabajo realizamos una primera aproximación estadística a este impresionante *corpus mensurarum*. En esta base de datos disponemos de muestras para

29 grupos diferentes, en distintas áreas geográficas, con diversas tipologías arquitectónicas y de diferentes épocas constructivas, englobando más de mil dólmenes en total. Sin embargo, como una primera aproximación, en lugar de tomar cada caso por separado, en este primer paso vamos a tomar todos los datos juntos. La idea de hacer esto es comprobar si existe alguna regularidad entre las diversas zonas y periodos. Una vez hecho esto, podemos tratar de encontrar causas a esa regularidad. Vaya por delante que la motivación de este trabajo no es la de encontrar un posible foco originario, reminiscente de difusionismos superados, sino la de tratar de poner en relación, si es que lo están, las orientaciones de grupos diferentes de megalitos, como posible pervivencia de costumbres orientativas a lo largo del tiempo y de las zonas.

2. Estadística básica

En la tabla 1 se muestran los distintos grupos de megalitos con los que trabajamos en el presente estudio. Los datos para los distintos grupos están sacado del libro *Tombs, Temples and their Orientation* (Hoskin, 2001). Los del grupo llamado *Central* corresponden a datos tomados por el autor en diversas provincias del centro peninsular y serán analizados en otra publicación. En total disponemos de 1031 medidas, agrupadas en 29 grupos que serán la base de nuestro estudio. En algunos casos y por motivos de simplicidad, se han agrupado dentro de un mismo grupo poblaciones que aparecen en el trabajo de Hoskin separadas.

La tabla 1 muestra diversos valores estadísticos que caracterizan la orientación de los megalitos de

Grupo	Número	\bar{A}	A mediana	$\sigma(A)$	δ
Almería	99	113.6	111	25.1	-16.6
Badajoz	10	62.0	65	21.7	21.8
Baleares	9	248.9	245	10.1	-14.6
Barcelona	10	154.8	140	54.9	-23.8
Cáceres	34	101.2	99	12.3	-8.1
Cádiz	5	185.4	216	86.2	-19.4
Central	10	117.2	116	16.6	-19.2
Cerdaña	22	117.6	121	24.7	-16.0
Córdoba	14	83.2	87	15.1	5.6
Douro N	11	86.5	93	26.5	1.7
Elvas	20	98.8	101	17.5	-6.4
Galicia	33	109.2	107	16.6	-12.8
Gerona	22	144.0	148	48.5	-27.3
Granada	143	125.7	122	34.7	-18.1
Guipúzcoa	26	100.5	97	19.5	-5.1
Huelva	33	99.8	92	28.2	-5.5
Lisboa	9	127.4	111	40.7	-21.1
Málaga	12	98.5	96	34.7	-2.6
Minho	12	99.2	101	10.8	-5.9
Miranda	7	117.9	119	11.1	-18.6
Mondego	43	103.5	106	20.6	-8.5
Norte	23	137.8	128	30.0	-27.3
Pirineos	100	175.6	168	47.2	-31.5
Portugal costa N	8	119.3	128	36.1	-19.0
Portugal S	24	100.6	108	19.4	-7.6
Salamanca	21	111.0	112	12.2	-12.4
Sevilla	15	89.2	82	35.3	5.0
País Vasco (Fr)	77	97.5	95	28.1	-3.7

Tabla 1.- Valores estadísticos de las orientaciones de 29 grupos de dólmenes en la Península Ibérica. La primera columna da el nombre de cada grupo, la segunda el número de megalitos en cada grupo, la tercera el valor del azimut medio, la cuarta la mediana del azimut, la quinta la desviación estándar del azimut y la sexta el valor medio de la declinación.

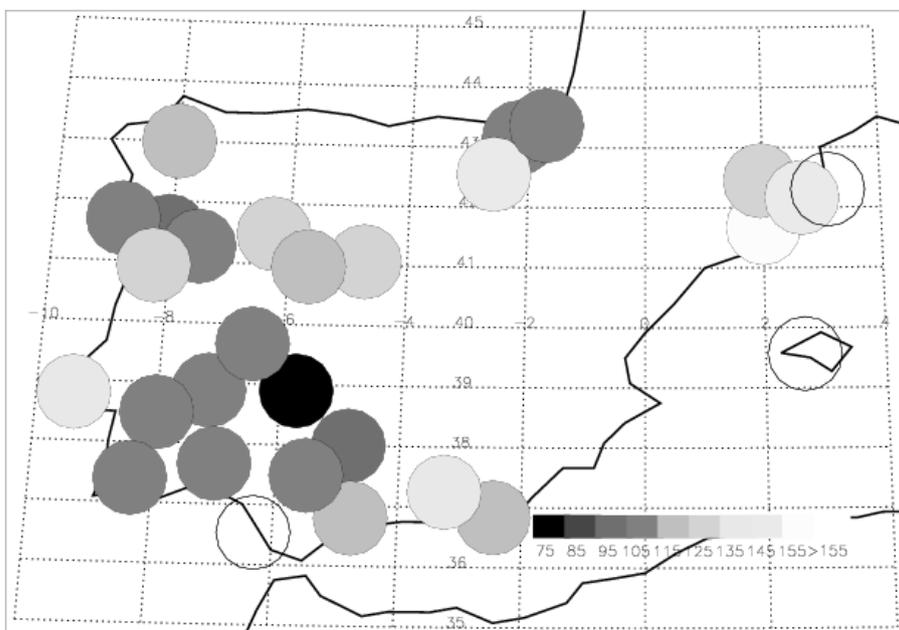


Figura 1.- Valores del azimut medio en cada uno de los 29 grupos considerados.

los diversos grupos. Así, la columna (2) alude al número de megalitos en cada grupo, (3) la orientación media (\bar{A}), (4) la mediana y (5) la desviación estándar ($\sigma(A)$); la columna (6) indica la declinación media. La declinación es una coordenada angular de uso frecuente en Astronomía, pues a dife-

rencia del azimut es independiente de las coordenadas geográficas locales lo cual es útil a la hora de comparar la orientación con posibles eventos astronómicos.

Una primera conclusión que podemos sacar de estudiar la tabla 1 es que existen similitudes entre

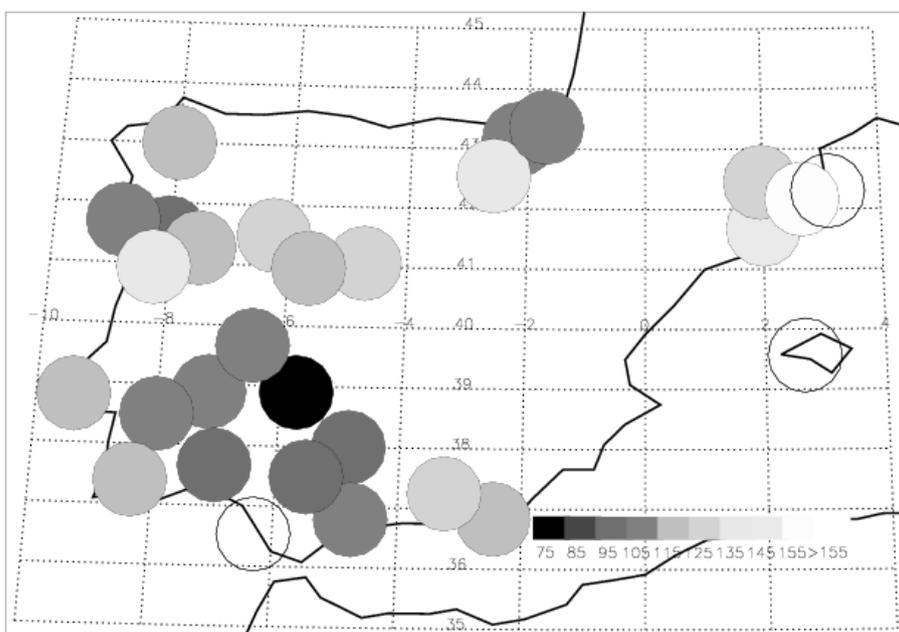


Figura 2.- Valores de la mediana para cada uno de los grupos considerados.

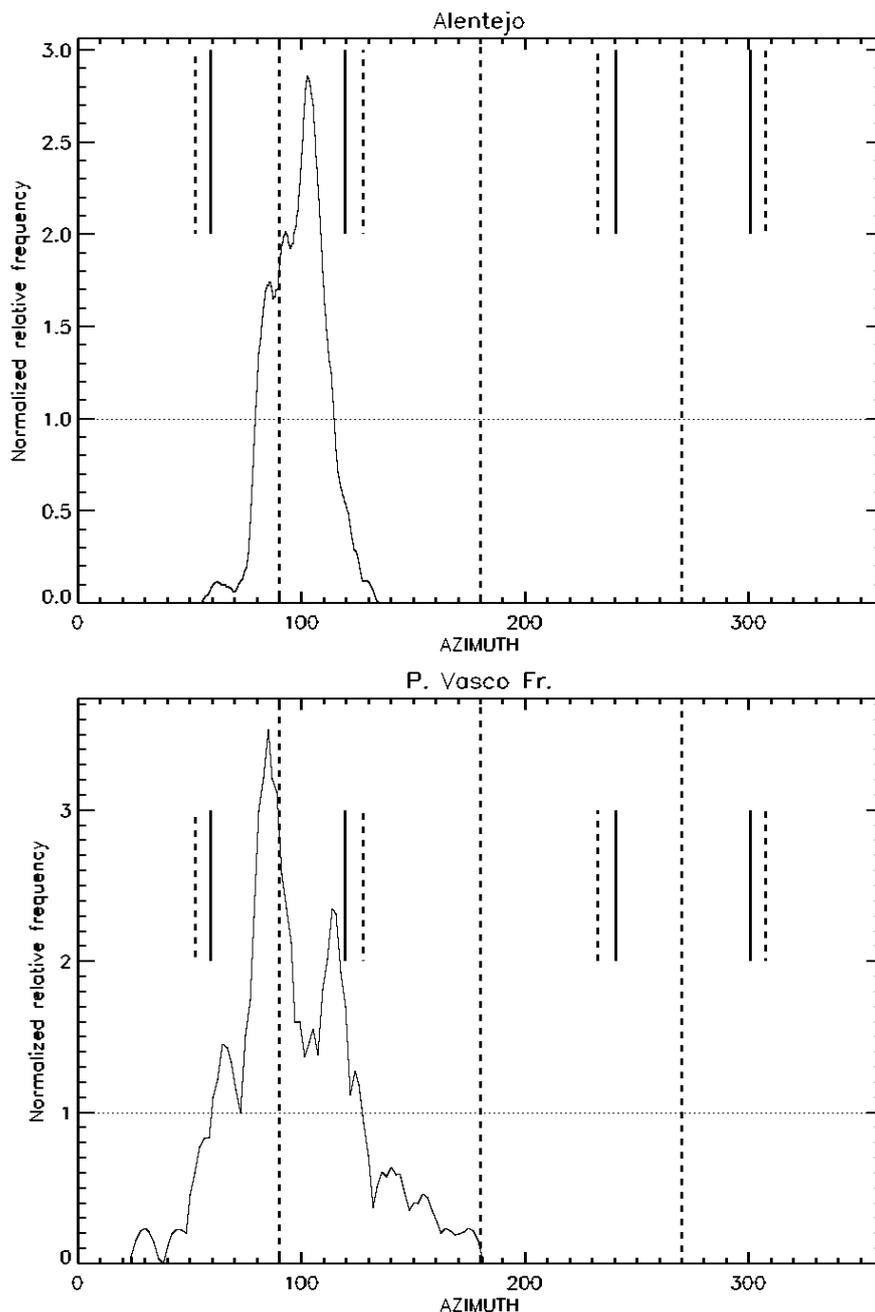


Figura 3.- Histogramas normalizados por la media de las distribuciones de azimut de los dólmenes del Alentejo (arriba) y País Vasco Francés (abajo).

diversos grupos, al menos a este nivel de comparación. Lo cual se hace más evidente si representamos algunas de estas cantidades en un mapa como el de la figura 1.

En esta figura representamos por **distintas tramas** el valor medio del Azimut en cada grupo sobre un mapa de la Península. Observamos cómo en di-

versas zonas estos valores para grupos cercanos son muy similares. Sin embargo la media, aunque es un valor estadístico muy sencillo, trabajando con dos poblaciones completamente diferentes pueden tener medias idénticas sin ser para nada compatibles una con otra. Esto se puede ver en la figura 2, donde representamos la mediana de las distribuciones y ve-

mos que aparecen cambios respecto de la figura anterior debido a que esas distribuciones son en cada caso diferentes. El cálculo de la media, además, es muy sensible a la existencia de elementos atípicos ('*outliers*') en la distribución, mientras que para distribuciones con un número adecuado de elementos, la mediana es menos sensible a esos elementos extraños.

Una manera útil de ver esto es representar las distribuciones en forma de histogramas como el de la figura 3. Se observa el caso de dos distribuciones de megalitos (los del Alenjo en Portugal y los del País Vasco francés) que tienen una media muy similar, pero la mediana es diferente y la apariencia de las distribuciones es bastante distinta.

Esto nos muestra que el asignar un posible 'target' astronómico común basado en medias o medianas similares es en el mejor de los casos optimista, si lo hacemos usando únicamente criterios basados en estos parámetros estadísticos simples. Incluso usar la distribución en forma de histograma, ya sea en azimut o en declinación (ver figura 4) puede no ser del todo clarificador a la hora de decidir entre posibles candidatos astronómicos. En este caso, efectos de solapamiento de dos distribuciones cercanas pueden mover un máximo o crear máximos espureos. Distinguir estos casos puede ser extremadamente difícil.

Vemos, pues, que esta manera de trabajar con estadística básica comporta un primer gran problema a la hora de obtener conclusiones sobre los datos y es que estas están basadas en una importante dosis de subjetividad al considerar un parámetro u otro como más relevante.

3. Análisis por Componentes Principales

Así pues, se hace necesario introducir métodos estadísticos o algebraicos más elaborados. Este tipo de estudios, usando por ejemplo *Cluster Analysis*, ya han sido aplicados con anterioridad en arqueoastronomía para determinar la significancia estadística de ciertos alineamientos (Patrick y Freeman 1988: 251-261). En esta sección vamos a usar un método diferente denominado Análisis por Componentes Principales (ver por ejemplo Lay 1994: 439-442) para estudiar posibles agrupamientos de forma no subjetiva. Este método se basa en buscar los ejes de máxima variación para una nube de datos en un espacio de N dimensiones. Por ejemplo, supongamos que medimos la posición tridimensional de diversos eventos. El método de Componentes Principales da las direcciones en las cuales las posiciones varían más. ¿Qué ventajas ofrece este método? Sobre todo que permite discriminar, entre los diferen-

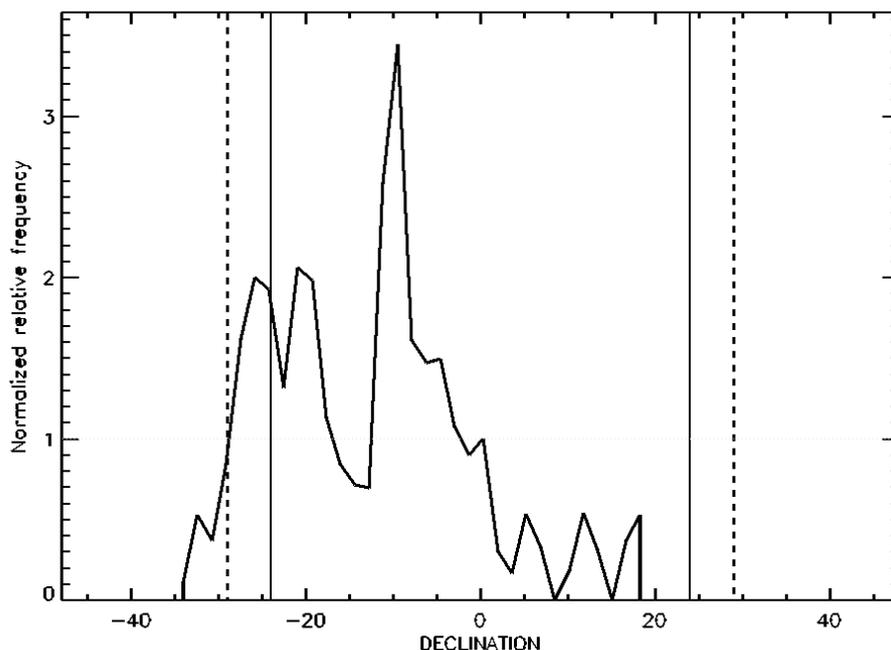


Figura 4.- Histograma de la declinación de los megalitos de Galicia. El máximo de la distribución, con un pico 3 veces por encima de la media, aparece a $\delta=10^\circ$, de controvertida asignación astronómica.

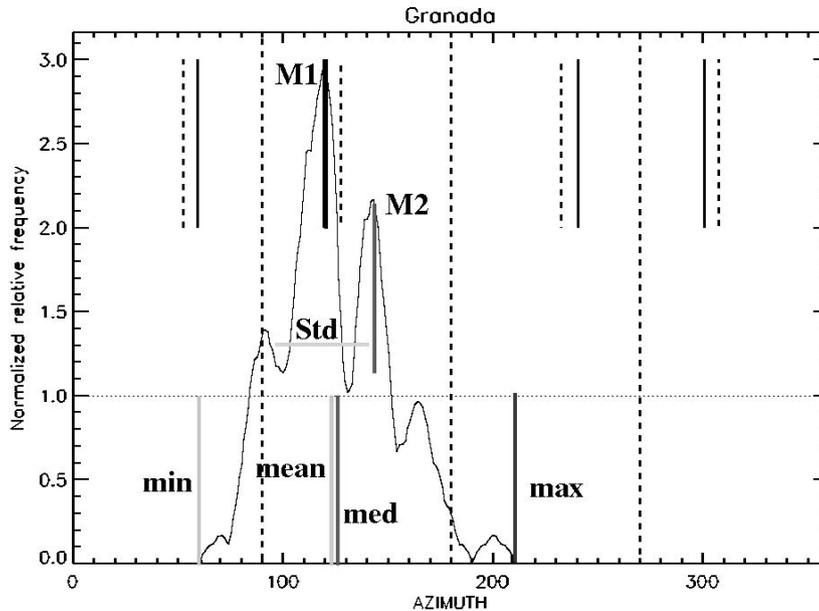


Figura 5.- Para caracterizar las distribuciones de cada grupo tomamos 7 datos: med, azimut medio; mean, mediana, std, desviación estándar; max, azimut máximo; min, azimut mínimo; M1, máximo de la distribución; M2, segundo máximo (si existe).

tes datos que tomamos, cuáles son los más relevantes, excluyendo valores redundantes, al tiempo que, de forma independiente, va a agrupar los valores que presentan similitudes, separando aquellos más excéntricos. Tenemos así un método a nuestro alcance para clasificar los grupos de manera independiente, evitando de esta manera un primer paso de subjetividad.

El método de componentes principales es una manera de identificar patrones en nuestros datos y al mismo tiempo sirve para expresar los datos en un nuevo sistema de ejes que permitan destacar las similitudes y diferencias.

Para utilizar este método actuamos del siguiente modo: sacamos una serie de datos de las distribuciones que van a caracterizar dicha distribución. En este estudio nos centramos únicamente en las cifras que podemos obtener directamente de las orientaciones de los dólmenes, sin incluir ningún dato de localización geográfica de los mismos, para evitar clasificaciones que puedan pesar más debido a esta nueva introducción. Además, de esta manera cualquier posible relación de proximidad aparecerá claramente si el método clasifica grupos situados geográficamente cercanos como cercanos también estadísticamente.

Los datos que hemos considerado son los siguientes: la media, la mediana, la desviación estándar,

el máximo y el mínimo de los azimutes posibles en esa distribución, así como los valores del azimut para los cuales encontramos los dos máximos principales de la distribución de orientaciones (ver figura 5). Estos siete valores van a definir nuestro espacio de parámetros, y los obtenemos para las 29 distribuciones. Otros parámetros que se pueden introducir y que lo serán en el futuro caracterizarán la época de construcción, la tipología de los dólmenes, restos encontrados en su interior, etc. Todos ellos son ignorados en este primer nivel de análisis, ya que en un primer intento sólo estamos interesados en ver qué muestran las orientaciones *per se* y sólo más adelante será interesante incluir los nuevos parámetros.

El método de componentes principales funciona de la siguiente manera. Primero se organizan los datos en una matriz $n \times m$, donde n son los 7 valores que hemos medido en las distribuciones y m el número de grupos en este caso. En cada columna n restamos a cada valor la media de esa columna. El paso siguiente es calcular la matriz de covarianza $C^{n \times n}$

$$C^{n \times n} = (C_{i,j}, C_{i,j} = cov(Dim_i, Dim_j))$$

Donde la covarianza se define como:

$$cov(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)(Y_i - Y)}{(n - 1)}$$

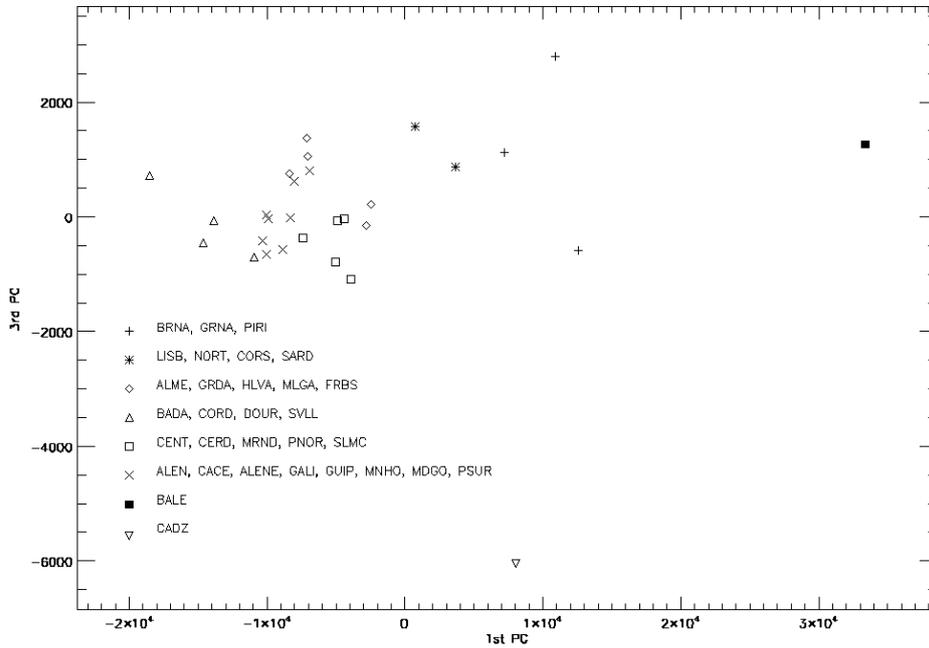


Figura 6.- Análisis por componentes principales: tercera componente principal frente a la segunda. Esta representación permite observar aglomeraciones de ciertos grupos.

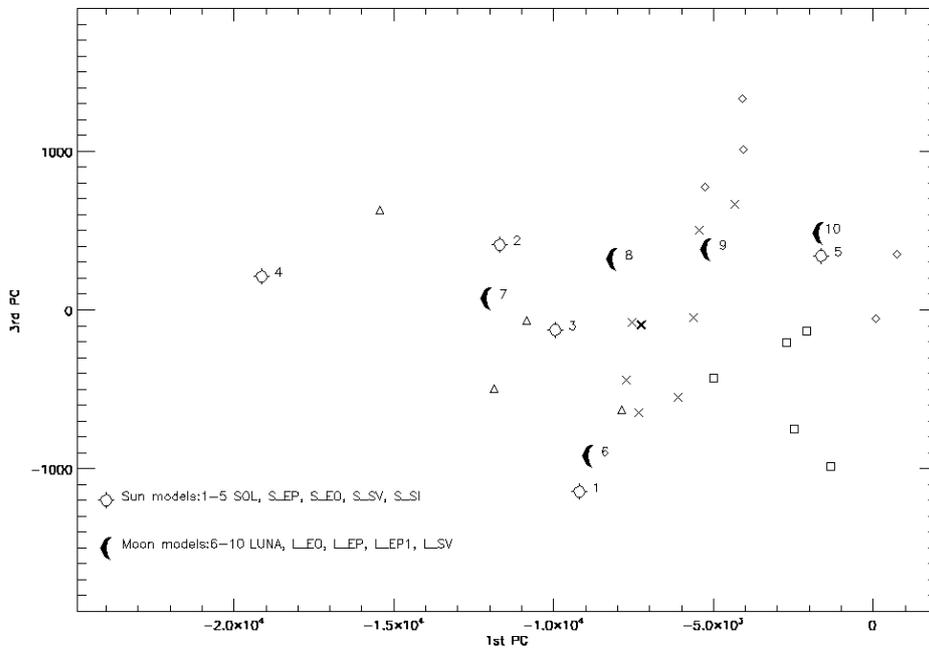


Figura 7.- Análisis por Componentes Principales: representación de la tercera y primera componentes principales. La figura es como la anterior, pero hemos añadido una serie de modelos (ver texto). La representación es un zoom al área de mayor densidad en la figura 6. Modelos: LUNA, todas las orientaciones posibles de la luna; L_EO, modelo de la luna después del equinoccio de otoño; L_EP, luna después del equinoccio de primavera; L_EP1, luna un mes después del equinoccio de primavera; L_SV, luna en torno al solsticio de verano; SOL, todas las orientaciones de salida posibles del sol; S_EO, sol en el equinoccio de otoño; S_EP, sol en el equinoccio de primavera.

Y Dim_x es la dimensión x-ésima. Es decir, calculamos una matriz de dimensiones $n \times n$ cuyas entradas son el resultado de calcular la covarianza entre cada par de dimensiones separadas, por ejemplo el elemento en la columna 4 y fila 5 de la matriz de covarianza será el resultado de calcular la covarianza entre las dimensiones 4ª y 5ª.

Finalmente, diagonalizamos la matriz y calculamos los valores propios y los vectores propios de la matriz de covarianza. De esta manera se ganan dos cosas: descubrir valores o columnas que sean redundantes, es decir, que no sean independientes entre sí y por últimos lograr ver aquellas que describen las mayores variaciones dentro de los datos. El vector propio correspondiente al mayor valor propio dará la primera componente principal y así sucesivamente. En nuestro caso, podemos reducir el estudio a las tres primeras componentes principales ya que ellas describen el 95% de la variación en los datos. De hecho la primera componente principal describe el 70%, la segunda el 14% y la tercera el 11%.

Una manera habitual de mostrar la salida de las componentes principales es representando los valores de la primera componente frente a la segunda o la tercera. Esto último es lo que aparece en la Figura 6 para los 29 grupos considerados. Podemos observar que existen ciertos agrupamientos y que lo que parecía evidente 'a ojo' (es decir, que había ciertos grupos con características similares) este método es capaz de reproducirlo, eliminando la subjetividad o, al menos, una gran parte de ella. Así pues, podemos observar que poblaciones de dólmenes cercanas entre sí tienden a aparecer agrupadas cerca también en este diagrama.

Cabe destacar de nuevo que las coordenadas geográficas no están presentes de manera implícita en los cálculos de estos parámetros, lo que viene a decir que la orientación de los megalitos, más allá de componentes temporales o estilísticas, tiene una fuerte dependencia geográfica o, de otro modo, que grupos de megalitos situados en regiones adyacentes tienden a tener orientaciones similares.

4. Modelado

Una vez establecida la existencia de grupos con características muy similares, podemos ver si éstas se pueden explicar por un objetivo astronómico común a ellas. En este sentido hemos realizado mo-

delos basados en la orientación que tendrían un número de monumentos si estuvieran orientados al Sol o a la Luna en determinadas épocas del año.

Para realizar estos modelos hemos utilizado las fórmulas y parámetros presentes en Green (1985: 22-35) y Meeus (1991: 341-348), introduciéndolos en programas desarrollados en lenguaje IDL. Hemos usado los siguientes modelos: salida del sol a lo largo de todo un año, salida del sol en torno al solsticio de invierno, salida del sol en torno al equinoccio de primavera, en torno al solsticio de verano y en torno al equinoccio de otoño. También hemos usado modelos sobre la luna, considerando la salida de la luna llena en diversas épocas: durante todo el año, primera llena después del equinoccio de primavera, un mes después del equinoccio de primavera, llena tras el equinoccio de otoño y llenas tras los dos solsticios. Para estos modelos hemos estudiado su distribución y hemos extraído los mismos parámetros que hemos usado para el análisis de los grupos de megalitos. Finalmente, hemos introducido estos datos junto a los de los grupos de megalitos y buscamos si estos se agrupan preferentemente en torno a algún modelo. Esto lo presentamos en la Figura 7. Hemos de reseñar que al introducir los modelos en el cálculo de las Componentes Principales cambia la matriz de covarianza, por lo que la figura 7 presenta diferencias con la figura. 6.

En la figura 7 vemos que los modelos basados en la luna son mejores para explicar algunas de las agrupaciones, como por ejemplo las del Alentejo en concordancia con el trabajo de da Silva (2004), mientras que en otros casos aparecen mejor situados modelos basados en el sol, por ejemplo para los megalitos de Córdoba.

Esto nos proporciona una base sólida para discriminar entre los diferentes modelos posibles a la hora de comparar estos modelos con las observaciones y tratar de determinar, de nuevo lo menos subjetivamente posible, si existió un objetivo astronómico y cuál de ellos es el más probable.

Realizamos el mismo intento para el caso de los megalitos del sur de Francia, de tipo BR y L, en el Languedoc (González-García *et al.* 2007). Dichos megalitos tienen orientaciones peculiares respecto a la mayoría de los megalitos del Occidente europeo pues su entrada se abre hacia el oeste o suroeste, en lugar de al este o sureste; observamos aquí que modelos basados en la primera visibilidad de la luna tras la conjunción con el sol podían expli-

car bien el rango de orientaciones y las posiciones de sus máximos.

Evidentemente, estos modelos son extremadamente sencillos y en muchos casos es posible que para un mismo grupo lo más plausible sea la existencia de combinaciones de varios modelos e incluso que el objetivo pueda no ser ninguno de los modelos aquí utilizados. A este respecto es reconfor-

tante comprobar que el 85 % de los datos aquí usados puede explicarse por los movimientos de salida del sol o de la luna. Este método lo estamos aplicando actualmente en los diversos grupos de la Península Ibérica y de fuera de ella. Esperamos poder mostrar los resultados de esta investigación en un futuro cercano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELMONTE, J.A.; HOSKIN, M. (2002): *Reflejo del Cosmos: Atlas de Arqueoastronomía del Mediterráneo Antiguo*. Equipo Sirius, Madrid.
- DA SILVA, C.M. (2004): The Spring Full Moon. *Journal for the History of Astronomy*, 35: 475-478.
- GARCÍA QUINTELA, M.V.; GONZÁLEZ-GARCÍA, A.C. (2009): Arqueoastronomía, antropología y paisaje. *Complutum*, 20 (2) (en este volumen).
- GONZÁLEZ-GARCÍA, A.C.; COSTA-FERRER, L.; BELMONTE, J.A. (2007): Solarists vs. Lunatics: Modelling patterns in Megalithic Astronomy. *Light and Shadows in Cultural Astronomy. Proceeding of the SEAC 2005* (M. Zedda y J.A. Belmonte, eds.), Stampa, Cagliari: 23-30.
- GREEN, R.M. (1991): *Spherical Astronomy*. Cambridge University Press, Cambridge.
- HOSKIN, M. (2001): *Tombs, temples and their Orientations: a New Perspective on Mediterranean Prehistory*. Ocarina Books, Bognor Regis.
- LAY, D. C. (1994): *Linear Algebra and its Applications*. Addison Wesley, Wilmington.
- MEEUS, J. (1991): *Astronomical Algorithms*. William-Bell Inc., Richmond.
- PATRICK, J.; FREEMAN, P.(1988): A cluster analysis of astronomical orientations. *Records in Stone: papers in memory of Alexander Thom* (C. Ruggles, ed.), Cambridge University Press, Cambridge: 251-261.