

PROPUESTA Y SÍNTESIS METODOLÓGICA DE ARQUEOLOGÍA DEL PAISAJE: UN DISEÑO PARA LA PREHISTORIA RECIENTE DE LA MESETA NORTE

Proposal and methodological synthesis of Landscape Archaeology: design for the Late Prehistory of the North Meseta

Francisco Javier MARCOS SÁIZ y J. Carlos DÍEZ FERNÁNDEZ-LOMANA
Área de Prehistoria. Dpto. de CC. Históricas y Geografía. Edificio I+D+I. Universidad de Burgos. Plaza Misael Bañuelos, s/n. 09001 Burgos. Correo-e: fms0017@alu.ubu.es

Recepción: 2007-05-10; Revisión: 2007-09-18; Aceptación: 2008-04-30

BIBLID [0514-7336 (2008), XLI, enero-junio; 131-154]

RESUMEN: Entre los años 1999 al 2007 se han realizado varias prospecciones sistemáticas intensivas de cobertura total en la Sierra de Atapuerca y en las terrazas adyacentes de los ríos Arlanzón, Vena y Pico. El objetivo de este artículo es sugerir una propuesta y síntesis metodológica basada en los principios teóricos de la Arqueología del Paisaje, paso previo para comprender, en otro estudio próximo, la evolución de los Patrones de Asentamiento del Neolítico a la Edad del Bronce y su proceso histórico. Se argumentan los métodos arqueológicos, la selección de variables, las nuevas técnicas de modelado del terreno y de análisis geoespacial con Sistemas de Información Geográfica (SIG), y su integración en el diseño de un Modelo Analítico basado en la Estadística Multivariante y el Análisis Espacial. El paisaje es un fenómeno social como resultado de las relaciones mutuas entre diferentes factores medioambientales, económicos, sociopolíticos y la dimensión simbólica. El carácter multidimensional del paisaje prehistórico requiere de diferentes variables cuantitativas y de la realización de avances tecnológicos para su comprensión. El resultado de este artículo es la elaboración de un diseño metodológico con una secuencia dividida en varias fases analíticas: Trabajo de campo, Prospecciones y Geoarqueología, SIG y bases de datos geoespaciales, Análisis Morfotécnico y Cultural de los artefactos, Análisis Funcional de los sitios, Análisis Locacional y Análisis Territorial. En el Análisis Locacional y Territorial se presentan en dos tablas cerca de 40 variables relevantes para ser aplicadas en el estudio de las estrategias de emplazamiento y más de 30 modelos analíticos donde se describen los conceptos teóricos, métodos y parámetros. Por último, el trabajo se ilustra con 13 Modelos Digitales del Terreno (MDT).

Palabras clave: Neolítico a la Edad del Bronce. Prehistoria Reciente. Metodología. Arqueología del Paisaje. SIG. Análisis Espacial. Estadística Multivariante. Patrones de Asentamiento. Sierra de Atapuerca.

ABSTRACT: Since 1999 to 2007 we have applied several full-coverage systematic surveys in the Sierra de Atapuerca and in the adjacent valleys of the rivers Arlanzón, Vena and Pico. The aim of this paper is to suggest a complete methodological approach inspired in the theoretical principles of the Landscape Archaeology, a previous way for understanding, in other future essay, the development of the Settlement Patterns from Neolithic to the Bronze Age and its historical process. We discuss archaeological methods, the data selection, the new techniques of terrain modelling and geospatial analysis with Geographic Information Systems (GIS), and

its integration in the design of an Analytical Model based on the Multivariate Statistic and the Spatial Analysis. The landscape is a social phenomenon as the result of the mutual relationships between environmental factors, economics, socio-political points of view and the symbolic dimension. The multi-dimensional character of the prehistoric landscape needs of different quantitative variables and to make advances in technology for his understanding. The result of this paper is a methodological design with several analytical stages: Fieldwork, Surveys and Geoarchaeology, GIS and Geospatial database, Morfo-technical and Cultural Analysis of the Artefacts, Functional Analysis of the Sites, Locational Analysis and Territorial Analysis. In the Locational and Territorial Analysis we present in two list near of 40 notable variables which can be used to study location strategies, and more than 30 analytical models where the theoretical concepts, methods and parameters are described. Finally, the paper is illustrated with 13 Digital Terrain Models (DTM).

Key words: Neolithic to the Bronze Age. Late Prehistory. Methodology. Landscape Archaeology. GIS. Spatial Analysis. Multivariate Statistic. Settlement Patterns. Sierra de Atapuerca.

1. Introducción

Los registros arqueopaleontológicos del karst¹ de la Sierra de Atapuerca, los túmulos y dólmenes del entorno (Bermúdez de Castro *et al.*, 1999; Díez *et al.*, 2003; Moreno, 2004), son el punto de partida para contrastar el poblamiento al aire libre de la Prehistoria Reciente mediante un proyecto² de Arqueología del Paisaje³. Desde 1999 al 2007 se han realizado diez campañas de prospección sobre 314 km²: 10 km de radio con epicentro en Cueva Mayor de la Sierra de Atapuerca. Se procedió a descubrir y a delimitar los yacimientos prehistóricos mediante la recogida total de artefactos líticos, cerámicos, documentar estructuras funerarias y habitacionales, con georreferenciación de los asentamientos mediante el GPS en los planos parcelarios a una escala de 1:7.000. Se realizaron informes referentes a suelos, relieve, litología, tamaño, concentración y dispersión de los artefactos.

En la planificación del método, de los variados modelos de prospección (Muestreo dirigido o

intencional; Muestreo probabilístico: aleatorio simple, aleatorio estratificado y sistemático estratificado) se optó por el método *Sistemático Intensivo de Cobertura Total* (Navazo y Díez, 2001; Navazo, 2002 y 2006): registro absoluto del terreno y no muestreos parciales o zonas de potencialidad arqueológica. Se hizo una inspección exhaustiva del territorio al ser un 95% campos de cultivo y estar recién roturados (alta visibilidad), con 10 prospectores diarios separados en batería a intervalos regulares de 15-20 metros (alta intensidad). Éste es el mejor método de prospección y el menos sesgado para los patrones de asentamiento, proporcionando datos completos al no correr el riesgo de pasar por alto yacimientos imperceptibles o muy pequeños en la superficie del terreno (Fish y Kowalewski, 1990).

La aplicación de esta metodología de prospección es fundamental para un estudio completo de Arqueología del Paisaje, porque parte de las técnicas macroespaciales requieren de la población total de los asentamientos. Tras varios años de intensas prospecciones se han detectado 162 yacimientos al aire libre del Neolítico a la Edad del Bronce, que sumados a las cuevas, túmulos y dólmenes dan una densidad promedio de 0,7 yacimientos por km², garantizando una alta probabilidad de que la muestra sea muy representativa de la población total.

2. Objetivos y planteamiento teórico

El diseño de una metodología de Arqueología del Paisaje requiere que se especifiquen teóricamente los objetivos. Así, pues, un *Patrón de Asentamiento* no es la característica de un hecho puntual como la tipología del emplazamiento, la de la funcionalidad o el área de captación, sino que al

¹ Tras 30 años de excavaciones sistemáticas son multitud los estudios y registros arqueológicos, paleontológicos y paleobotánicos en los rellenos kársticos de la Sierra de Atapuerca. El Holoceno cuenta con una amplia secuencia estratigráfica desde la segunda mitad del VI milenio calBC en el Portalón de Cueva Mayor, Galería del Sílex, Cueva del Silo, Cueva Ciega y Cueva del Mirador.

² Proyectos de investigación: "Prospección arqueológica sistemática intensiva del entorno de la Sierra de Atapuerca" (DGCYT: BXX2000-1258-CO3-01). "El Pleistoceno y Holoceno de la Sierra de Atapuerca: Paleobiología y Paleoeconomía de las poblaciones humanas III" (DGCYT: CGL2006-13532-CO3-03). F. J. M. S. es Becario de Investigación de la Fundación del Patrimonio Histórico de Castilla y León.

³ Agradecemos al Dr. Javier Baena Preysler la revisión crítica del manuscrito y las sugerencias aportadas.

mismo tiempo es un proceso histórico dinámico-dialéctico, diacrónico-sincrónico y espacio-temporal, explicable en un contexto tecnológico y cultural cuya causalidad depende de la sinergia de múltiples factores sociales y económicos, a veces contradictorios (Marcos, 2006).

De esta definición teórica del objeto de estudio se desprende la necesidad de una metodología que supere los enfoques historicistas, funcionalistas, economicistas y el determinismo ambiental, e integre a éstos con múltiples variables desde perspectivas no mecanicistas. Sólo desde esta visión sintética se podrán correlacionar coherentemente las variables tecnológicas, topográficas, geológicas, geomorfológicas, hídricas y ecológicas que condicionan las estrategias económicas desplegadas en el ecosistema (*Relaciones grupo/medio*), con las variables sociales de las interacciones con otros grupos humanos (*Relaciones intergrupales*) y consigo mismos (*Relaciones intragrupalas*). También, se deben interpretar fenómenos no cuantificables como la simbología del paisaje y el rol de la memoria social en la elección locacional de los enterramientos y lugares sagrados (Tilley, 1994).

El objetivo del artículo es sugerir una propuesta teórico-metodológica desde diferentes disciplinas. Exponer brevemente los métodos, modelos, las nuevas tendencias, describir las variables, parámetros y discutir la conveniencia del diseño del diagrama secuencial metodológico desarrollado. El trabajo pretende ser una síntesis de las técnicas de la Arqueología del Paisaje, dada la escasez de este tipo de estudios en la literatura arqueológica. Asimismo, se describen nuevas variables, parámetros y métodos apenas explorados. Por razones de espacio el objetivo esencial serán las técnicas del Análisis Locacional y Territorial. En consecuencia, se obvia el discurso sobre los orígenes, evolución y enfoques teóricos desde la *Field Archaeology* de la década de los 50 hasta la actual Arqueología del Paisaje (Ortega, 1998; Orejas, 1998; Vicent, 1991).

La Arqueología del Paisaje no debe caer en el error metodológico de establecer como objetivo último de estudio la comprensión del espacio físico o el medio ambiente, si bien estos ámbitos son la base de cualquier estudio histórico. Los conceptos de *Paisaje* y *Territorio* no son sinónimos, dada la ambigüedad de ciertos estudios. El *Paisaje* es una construcción social del espacio, cognitiva y material, donde la percepción subjetiva de una sociedad proyecta y modela su herencia cultural desde el plano económico al simbólico. Un *Territorio* es un espacio socioeconómico colonizado o confiscado,

explotado económicamente y delimitado físicamente por una sociedad que ejerce el control. La ordenación, articulación y jerarquización del territorio pueden ser analizadas en el paisaje mediante la lectura de los patrones de asentamiento, integrando todas las correlaciones espaciales significativas de *objetos arqueológicos* en un contexto antropológico, desde una Teoría Social coherente.

3. Base metodológica

3.1. Estadística Multivariante e Inferencial

De la aseveración anterior –“correlaciones espaciales significativas de *objetos arqueológicos*”–, se deduce la necesidad de la Estadística Multivariante e Inferencial, único método científico para establecerlas. En esta propuesta metodológica, por *objeto arqueológico* no sólo se entiende al artefacto, sino al asentamiento, al monumento megalítico, al emplazamiento, la funcionalidad, las áreas de captación, los territorios político-económicos, las redes de interacción y cualquier fenómeno espacial susceptible de cuantificación y correlación estadística.

En este diseño la Estadística Multivariante e Inferencial y el SIG se retroalimentan, siendo *input* y *output* al mismo tiempo. Es decir, con el SIG se cuantifican múltiples variables de un modelo que son analizadas en el *software* estadístico SPSS; a su vez, los resultados, bien sea una tipología o una hipótesis, se proyectan de nuevo al SIG para contrastarla y generar nuevas variables y modelos. El ciclo sistémico *input-output*, mediante deducción e inducción, irá desde la prospección sistemática de cobertura total a la concatenación de las siguientes fases analíticas progresivas: Análisis Morfotécnico-Cultural, Análisis Funcional, Análisis Locacional, Análisis Contextual, Análisis Territorial y Análisis Integral. Del modelo simple al modelo complejo final, el cual recoge y sintetiza la totalidad para inferir la evolución del patrón de asentamiento y los procesos sociales de su génesis.

En el diseño metodológico se integrará la estadística univariante, una técnica bivariante, cuatro técnicas multivariantes y varios contrastes de significación estadística: Análisis Cluster (ACL), Análisis de Componentes Principales (ACP), Análisis Factorial de Correspondencias (AFC), Análisis de Regresión Lineal (ARL) y Múltiple (ARM), Test de Chi-cuadrado, Test de Student-Fisher, Test de Kolmogorov-Smirnov, Test de Kaiser-Meyer-Olkin,

Test de Bartlett, Test de Correlación y Test de Varianza (ANOVA). Además, se aplicarán varios test geoespaciales en el SIG por medio de algoritmos (*scripts*) y álgebra de mapas; *input* y *output* en los *software ArcGIS* e *Idrisi*. Para los fundamentos teórico-matemáticos, dada su relativa complejidad, se remite a varios autores: Mallo, 1985; Shennan, 1992; Baxter, 1994; Hair *et al.*, 1999; Gómez y Barredo, 2005.

El *Análisis Cluster* (ACL) es una técnica estadística multivariante de reducción de datos, también denominada taxonomía numérica. Se clasifican los yacimientos de forma que cada uno sea lo más similar posible al que está en el mismo agrupamiento o clase jerárquica. Se parte de una matriz de similitud con una métrica de distancia euclídea al cuadrado calculada sobre la matriz original de las variables. Se representa en forma de dendrograma. El objetivo es realizar una tipología gradual: grupos, tipos y subtipos.

El *Análisis de Componentes Principales* (ACP) y el *Análisis de Correspondencias* (AFC) son técnicas estadísticas multivariantes factoriales de interdependencia, donde se consideran todas las variables simultáneamente, sus correlaciones y el concepto del *valor teórico*. Es decir, que *a priori* se conoce qué tipo de variables intervienen en un determinado fenómeno espacial, eliminando las redundantes. Se parte de una matriz de yacimientos y variables sobre la que se calcula una matriz de correlaciones para cada par de variables. El propósito es reducir una serie de variables correlacionadas en un número menor de variables nuevas denominadas componentes o factores, con la mínima pérdida de variabilidad y maximizando la varianza explicada. Los factores que representan múltiples dimensiones del fenómeno de estudio son los ejes ortogonales de un diagrama de dispersión, en el cual se proyectan asociadas las variables originales y los yacimientos según su correlación. La diferencia entre ambos métodos es que el ACP parte de una matriz de variables cuantitativas continuas, mientras que el AFC sólo trabaja con tablas de contingencia cruzadas de variables cualitativas categóricas y cuantitativas discretas (frecuencias). El objetivo es analizar las correlaciones de diversos fenómenos, las tendencias de los yacimientos y tipos creados por el ACL, mediante la definición de la estructura subyacente que representan los factores.

El *Análisis de Regresión Lineal o Múltiple* (ARL-ARM) es una técnica estadística bivalente y multivariante, que a diferencia de las anteriores

no descubre relaciones o estructuras subyacentes en las variables sino la naturaleza entre ellas. El hecho de que exista correlación significativa entre dos variables revela que el conocimiento que se tenga de una de ellas aportará información sobre la segunda. De este modo, se mide la relación entre una variable dependiente, explicada o *criterio* y otra independiente, explicativa o *predictora* (Hair *et al.*, 1999). El objetivo es el contraste de hipótesis de diversos fenómenos, del ACP-AFC y la construcción de modelos predictivos en el SIG.

Los test de significación estadística se basan en la Teoría de la Probabilidad de la Estadística Inferencial, contrastando el grado de ajuste de la distribución observada frente a la esperada. Fundamentalmente, sirven para comparar medias poblacionales, estimaciones muestrales, contraste de hipótesis y para validar mediante criterios de fiabilidad el ACL, ACP, AFC, ARL y ARM. Se parte de una hipótesis nula (H0) de no diferencia, no asociación, no heterogéneos, etc., y se contrasta frente a la hipótesis alternativa contraria (H1). Se miden y cuantifican las distribuciones según el tipo de test y se pregunta por la probabilidad de que una diferencia como ésta pueda ocurrir, por ejemplo, si las dos muestras procediesen de la misma población. Por lo general, se acepta para el rechazo de la hipótesis una probabilidad del 95%, con un error del 5% (Shennan, 1992).

Los *Test de Correlación*, *Kaiser-Meyer-Olkin* y *Bartlett* serán aplicados para inferir la significatividad, validez y fiabilidad del ACP. El test de *Kolgomorov-Smirnov* será aplicado para definir si las variables siguen la distribución normal, comparando la asimetría y curtosis. La normalidad de las variables no es un requisito indispensable para la realización del ACL, ACP y AFC aunque su incumplimiento puede disminuir un poco los coeficientes de correlación (Mallo, 1985; Hair *et al.*, 1999). Por ello, cuando se detecte que mejora la correlación con las variables normalizadas, mediante "prueba y error", con los algoritmos del SPSS se pueden transformar. El *Test de Student-Fisher* y *Test ANOVA* serán aplicados al ARL, ARM, contraste de hipótesis y medias muestrales de una población. Los *Test del Chi-cuadrado* (χ^2) y *Fi-Cuadrado* (ϕ^2), piedras angulares de la inferencia, serán aplicados en múltiples situaciones: validez y fiabilidad del ACL, ACP y AFC, contraste de hipótesis tecnológicas, funcionales, locacionales, territoriales y de modelos medioambientales en el SIG.

3.2. *Geoarqueología: aspectos postdeposicionales*

En cualquier estudio de Arqueología del Paisaje de la Prehistoria Reciente la mayoría de los yacimientos son de superficie, en posición semi-primaria o secundaria. La dispersión de los artefactos de un yacimiento puede estar relacionada con incisiones hídricas, arrolladas, superficies de erosión, procesos de coluvión, soliflucción en las pendientes, conos de deyección y el laboreo agrícola mecanizado (Butzer, 1989; Boismier, 1997; Freeman, 2000; Fanning y Holdaway, 2001). Esencialmente, estos fenómenos deben ser analizados en seis fases, según la ambición del proyecto.

En la 1.^a fase la región de estudio debe tener *Cartografía Digital* a escala 1:10.000 sobre Geomorfología, Geología y Topografía. Es interesante la reconstrucción de paleo-relieves cuaternarios con SIG para definir la dinámica del paisaje, como los efectuados en el entorno de la Sierra de Atapuerca (Benito y Pérez-González, 2005). Según estos estudios el relieve del Holoceno es muy similar al de hoy, prácticamente idéntico desde la fase climática Atlántica (5500/2500 a.C.). En la 2.^a fase, *Prospección sistemática intensiva de cobertura total* (Navazo, 2002 y 2006), se realizan informes y fichas sobre la matriz sedimentaria, suelos, relieve y el tamaño de la dispersión, proyectado en los mapas parcelarios a escala 1:7.000. En la 3.^a fase, *Prospección a microescala*, se rectificará el tamaño de la dispersión, estableciendo los límites de forma precisa con los planos y el GPS, proyectando los puntos al SIG.

En la 4.^a fase se georreferencian en el SIG los polígonos parcelarios, el tamaño de la dispersión vectorizado y las capas digitales de la Geomorfología, Geología y Topografía. En este punto se comprueba en el campo si hay una asociación del yacimiento con las superficies de erosión, coluviones e incisiones hídricas. En la 5.^a fase se cuantifican y tabulan por cada yacimiento el tamaño de la dispersión, la pendiente de la misma, su orientación y la densidad de artefactos, estableciendo con el *software* SPSS y SIG correlaciones significativas con diversos fenómenos hídricos y topográficos (Marcos, 2006). Del mismo modo, con el SIG se construyen *Modelos de Regresión* (Fanning y Holdaway, 2001), *Modelos de Erosión*, *Modelos Hídricos* y *Modelos Predictivos*. Estos aspectos serán tratados en otro epígrafe. En la 6.^a fase se deben realizar estudios de *Morfología de Suelos* (macro y micro); sin embargo, su aplicación por geoarqueólogos es

muy costosa para 162 yacimientos, llenando por sí sola una Tesis Doctoral.

Si se demuestra que los yacimientos del Holoceno no están cerca de incisiones hídricas, coluviones, conos de deyección, superficies de erosión, ni imbricados en matrices sedimentarias de tipo limoso; y no hay correlación entre el tamaño de la dispersión y la distancia a los flujos hídricos, se podría aseverar que la alteración postdeposicional queda limitada a dos factores: el laboreo agrícola mecanizado y la erosión en las pendientes.

El laboreo agrícola y la diferente maquinaria producen en los artefactos líticos movimientos horizontales y verticales. Los experimentos de Boismier (1997) –*Blue Flake* y de la *University Farm*– confirman, al igual que otros autores, un desplazamiento de los artefactos inferior a los 100 m en varias décadas y una recuperación del 10% del total de artefactos. Con estos datos podemos plantear un Análisis Locacional, puesto que la dispersión es irrelevante al analizar el emplazamiento en 500 m y 1 km de radio.

En cuanto al Análisis Funcional, la recuperación de un 10% del total de artefactos de cada yacimiento es una muestra significativa para categorizar según la clasificación de Carbonell *et al.* (1986); ya que en una *prospección sistemática intensiva de cobertura total*, en igualdad de condiciones, todas las piezas líticas obtienen la misma probabilidad de ser localizadas, siendo la cadena operativa de producción lítica representativa de la original. No obstante, según varios autores (Boismier, 1997) se ha demostrado una representatividad diferencial del 30% según el peso y volumen, donde las piezas grandes están mejor representadas. Sin embargo, este porcentaje sería una constante matemática a deducir en todos los yacimientos; por lo tanto, las diferencias descubiertas entre ellos a través de la Estadística Multivariante serán las mismas.

Dentro de los objetivos del Análisis Locacional, posteriormente expuesto, está el contraste de una parte de los factores de la alteración postdeposicional. Mediante la correlación de las variables cuantitativas continuas de la dispersión de los artefactos con los índices de rodamiento, pendientes, altitudes, alturas relativas, amesetamientos, se puede deducir el porqué de ésta e inferir su ubicación original. Según Fanning y Holdaway (2001: 683): “Experimental and field studies show that the probability of artifact transport and the distance covered are a function of clast size, and that slope gradient is a strong predictor of

transport distance". El método de estos autores es un Análisis de Regresión Múltiple de variables medioambientales, donde la tipometría de los artefactos es la variable *criterio* y donde se ha tabulado la altitud de cada pieza.

La conclusión es que el gradiente de la pendiente es el factor principal del transporte de las piezas según su volumen. Según esto, la soliflucción en las pendientes actuaría como fuerza opuesta al movimiento horizontal del laboreo agrícola. Asimismo, otro factor es el movimiento pendular de la dirección del arado, retrorayendo las piezas. En conclusión, hay movimientos centrífugos y centrípetos, generando una dispersión casi irrelevante para un Análisis Territorial a mesoescala y macroescala.

3.3. Gestión de datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG)

Un SIG sirve de instrumento analítico para poder georreferenciar las localizaciones de asentamientos en varias capas de formato *vectorial* y *raster* con ficheros asociados de atributos alfanuméricos: geomorfología, geología, topografía, hidrografía, toponimia, edafología, vegetación, poblamiento, red viaria, usos del suelo, etc.; estableciendo una correlación estadística mediante algoritmos y álgebra de mapas. En el plano técnico, un SIG es un sistema de *hardware*, *software* y extensiones diseñados para la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y contraste de hipótesis de problemas espaciales muy complejos. Cada elemento del mapa tiene su correspondiente atributo alfanumérico en la base de datos, conectados mediante un identificador común.

Es precisamente en esta conectividad donde reside la potencia, puesto que se pueden derivar modelos interdisciplinarios al integrar la Estadística Multivariante e Inferencial con la Cartografía Digital en el mismo *software*, analizando, clasificando, combinando y retroalimentando datos arqueológicos y medioambientales para generar nuevos mapas temáticos (*input-output*). Por tanto, abre un inmenso abanico de posibilidades teóricas y metodológicas en la Arqueología del Paisaje. Para los fundamentos más simples del SIG se remite a otros autores: Bosque, 1992; Comas y Ruiz, 1993; Felicísimo, 1994; Moldes, 1995; Gómez y Barredo, 2005; Lock y Stancic, 1995; Baena *et al.*, 1999. No obstante, es obligado definir varios conceptos que surgirán en los epígrafes posteriores.

Los *software* de aplicación son el ArcGIS y el Idrisi a los que se implementan las *extensiones* y *scripts*. Es decir, estas plataformas modulares permiten la incorporación, según los objetivos, de *microsoftware* (extensiones) y algoritmos (*scripts*) que aumentan la potencialidad del SIG. Los modelos generados pueden tener formato vectorial, raster o mixto. El formato *Vectorial*, como en AutoCad, es una estructura topológica de datos que representa elementos geográficos de tres formas básicas: puntos, líneas y polígonos. Estos objetos están tabulados por las coordenadas de sus nodos y vértices. El formato *Raster* o *Grid* es una estructura de celdillas, como una ortofoto o una imagen de satélite, donde la superficie del modelo está recubierta totalmente por píxeles. Cada píxel mide equis metros del paisaje y tiene tabuladas las coordenadas y un valor por cada variable de análisis. Es decir, es una matriz estadística virtual de filas y columnas.

De estos modelos se derivan los TIN, *Triangular Irregular Network*, para interpolar superficies tridimensionales, y los *Modelos Raster de Matriz Regular*, donde se superpone una rejilla al terreno para extraer de cada píxel el valor medio de una variable. La *interpolación* (IDW, Spline y Kriging) es un conjunto de algoritmos para calcular el valor del atributo de una localización a partir de los valores del atributo de puntos vecinos. Por ejemplo, de vector a raster, raster a TIN y viceversa; o, para crear una superficie cuantitativa continua desde datos puntuales. Con esta metodología se construye un *Modelo Digital de Elevaciones* (MDE): archivo numérico de datos tabulados georreferenciados que representa la altitud de la superficie del terreno, mediante curvas de nivel o puntos de cota. Posteriormente, se construye un *Modelo Digital del Terreno* (MDT): estructura numérica de datos tabulados georreferenciados que proyecta la distribución espacial de una o varias variables cuantitativas continuas (Felicísimo, 1994). Los MDE y MDT, de estructura Grid o TIN, son la base metodológica para la modelización de fenómenos medioambientales y socioeconómicos que definen los patrones de asentamiento. Cada MDT tiene la inicial de la variable.

Las *ortofotos* son imágenes reales del paisaje geográficamente rectificadas, con lo que pueden ser superpuestas a los MDT y TIN para detectar estructuras, prospección aérea y reconstrucciones virtuales. Las *imágenes radar de sensores remotos* pueden ser implementadas en los MDT para analizar la productividad agraria del paisaje mediante el

espectro electromagnético (Chuvieco, 1996). Los píxeles de las imágenes Landsat V y VII TM de resolución 30m. representan la vegetación y el terreno actual. Cada elemento del paisaje tiene una firma espectral mediante la energía reflejada. Como las bandas del espectro raster son variables cuantitativas continuas, son susceptibles de contraste estadístico con el poblamiento para inferir decisiones locacionales e hipótesis. A continuación se construyen los MDE y MDT del sector Sur de la Sierra de Atapuerca.

Una vez generadas las curvas de nivel desde las cotas vectoriales (Fig. 1), se interpola la altitud para generar el MDE, representando un Grid de variable cuantitativa continua. Posteriormente, se interpolan el resto de fenómenos con MDT y TIN (Fig. 2).

Del cálculo geoespacial anterior se pueden derivar por interpolación y álgebra de mapas varios MDT cuantitativos (Figs. 3, 4 y 5). El MDT de Pendientes (%) y el MDT de Orientaciones (grados) serán la base de la construcción de otros modelos estadísticos.

4. Análisis morfo-técnico-cultural y análisis funcional

En esta fase del diseño metodológico se debe sistematizar la cultura material, la cadena operativa de producción lítica, los procesos de producción, intercambio y transformación, las áreas de suministro de materias primas, la tipología de la cerámica, la atribución cultural de los asentamientos y su funcionalidad; paso previo para inferir las estrategias económicas de subsistencia del Neolítico a la Edad del Bronce.

Para tal propósito, y en concreto para nuestro trabajo, hemos cuantificado las categorías estructurales, características morfo-técnicas, morfotipos y materias primas de la industria lítica y cerámica que aporta el registro de prospección. En la metodología propuesta se integrará la Analítica

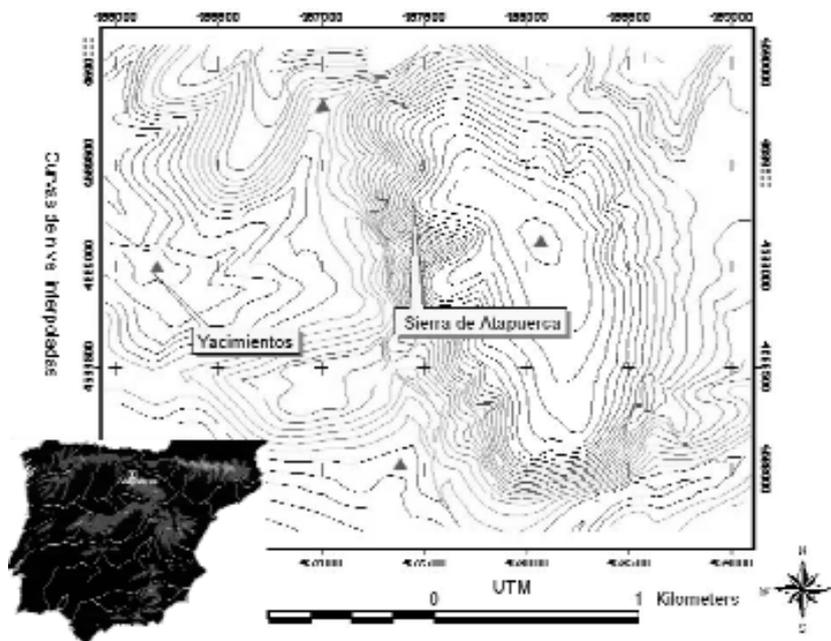


FIG. 1. Proceso de georreferenciación, unión, recorte y superposición vectorial de las curvas de nivel y los yacimientos (Sector Sur de la Sierra de Atapuerca).

de Laplace (retoque), el *Sistema Lógico Analítico Conceptual*⁴ (Carbonell *et al.*, 1999) con la Tipología Lítica del GEEM (microlitos geométricos), la Lista Tipológica de Fortea y la Lista y Tipometría de Bagolini (proyectiles), aparte de la tipología cerámica de la Prehistoria Reciente para cada periodo (Fortea, 1973; Merino, 1994; Eiroa *et al.*, 1999).

En cuanto a la función socioeconómica de los asentamientos se debe realizar un *Análisis Multivariante Funcional*, aplicando las técnicas del ACL,

4 Según la posición de cada objeto en la cadena de producción se le asigna una *Categoría Estructural*. El origen comienza con la captación de nódulos de sílex o cantos silíceo-cuarcíticos. Cada extracción se denomina *Base Positiva* (BP), mientras que la base natural (BN) explotada es denominada *Base Negativa de 1.ª Generación* (BN1G), distinguiendo explotación (BN1Ge) de configuración (BN1Gc). Si, a su vez, se sigue tallando la lasca extraída (BP), aparecerán nuevos negativos y más extracciones de menor tamaño denominadas *Bases Positivas de 2.ª Generación* (BP2G), mientras que la BP original con nuevas extracciones o retoques quedará configurada como un utensilio, denominada *Base Negativa de 2.ª Generación* (BN2G). El ciclo puede continuar indefinidamente según el volumen de la materia prima.

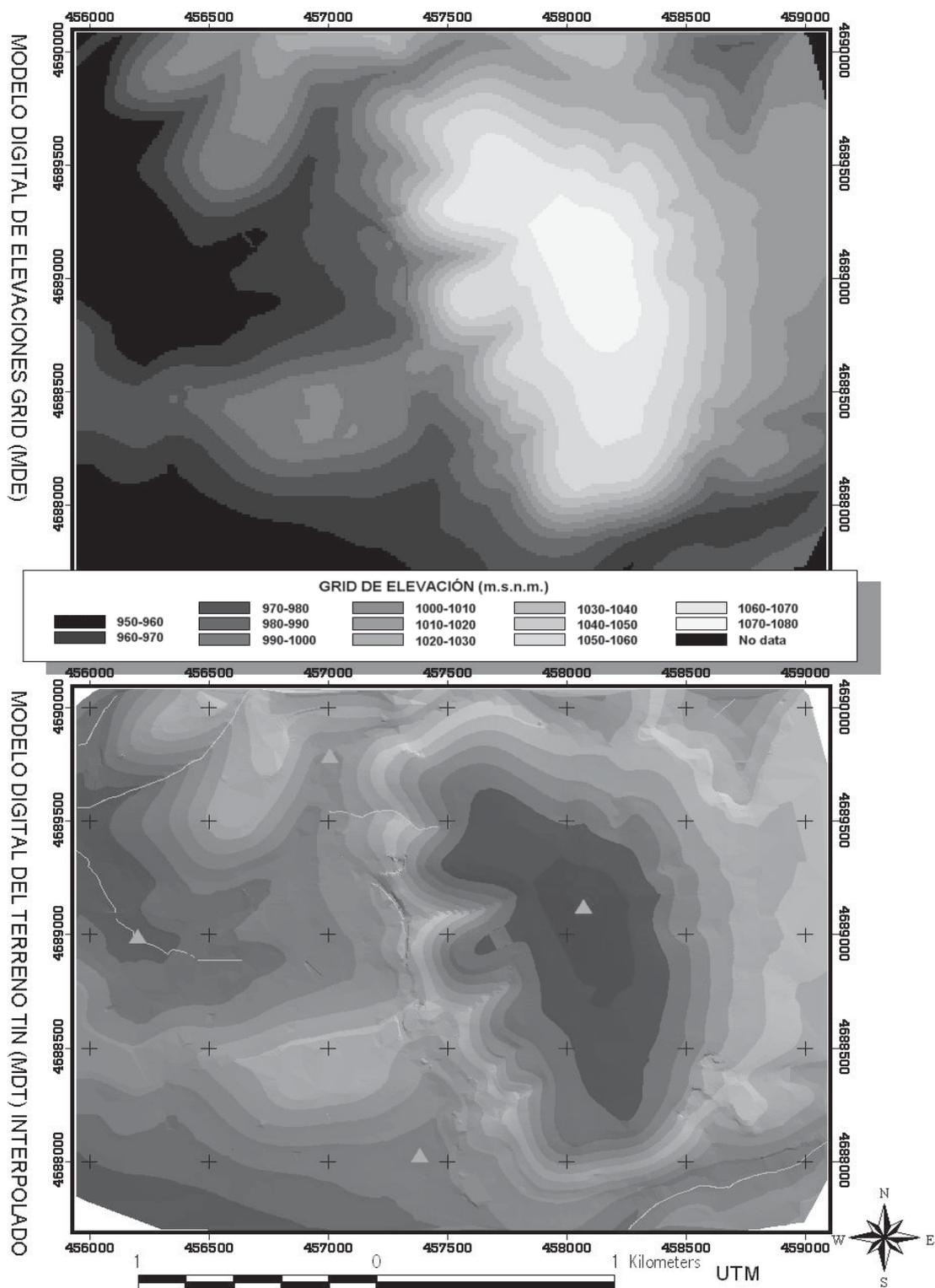


FIG. 2. Proceso de interpolación del Modelo digital de elevaciones (MDE) y Modelo digital del Terreno (MDT).

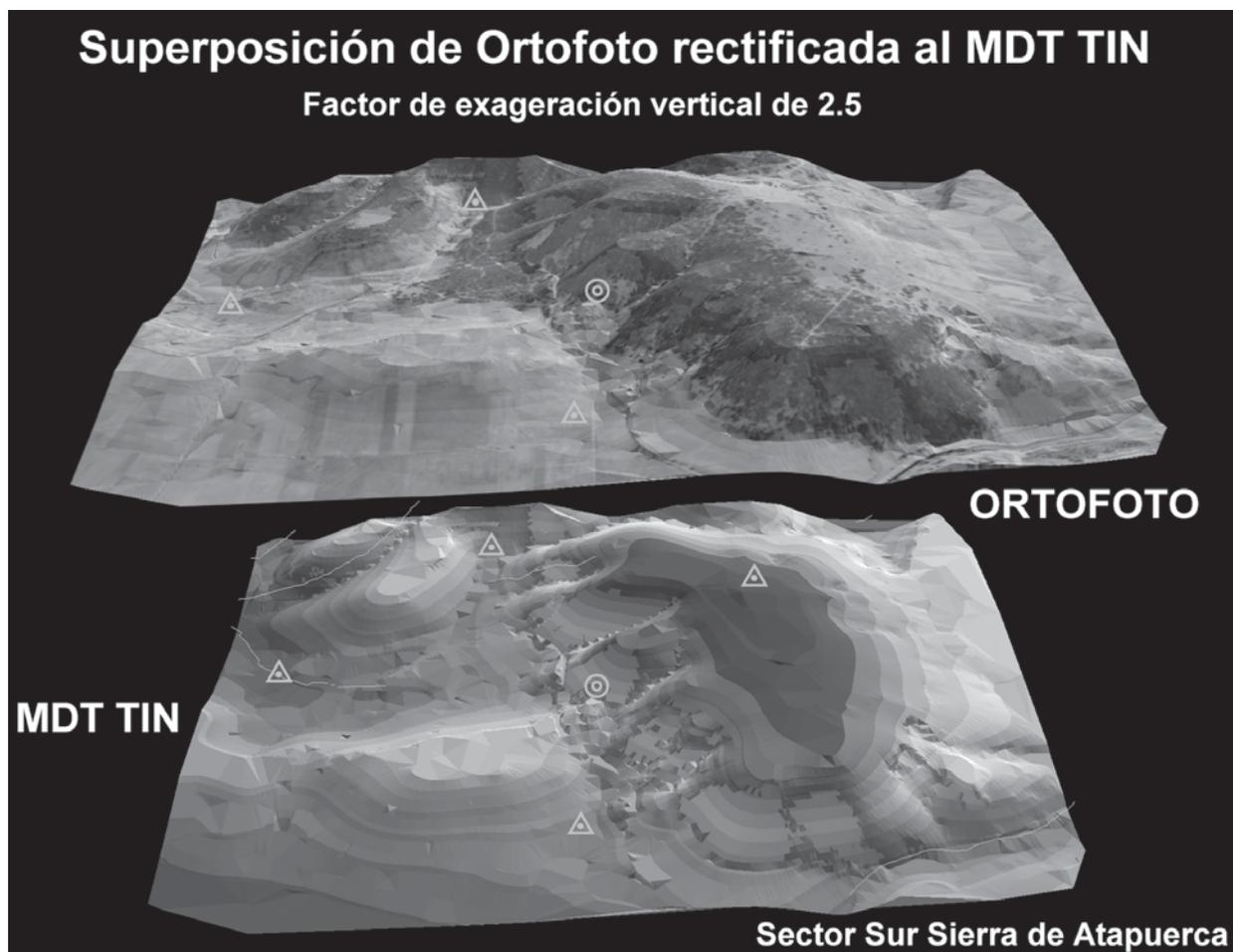


FIG. 4. Proceso de superposición de la ortofoto rectificada y yacimientos al Modelo Digital del Terreno TIN.

ACP, AFC, ARL, ARM y χ^2 con porcentajes y frecuencias de las categorías estructurales, características morfo-técnicas y las materias primas tabuladas en una matriz estadística por atribuciones culturales, fases sincrónicas y diacrónica global. Los objetivos son:

- Tipología funcional gradual de Poblados y Estaciones Complementarias (ACL).
- Correlación de categorías estructurales, materias primas, tendencias y factores (ACP).
- Correlación de morfotipos, índices morfo-técnicos, tendencias y factores (AFC).
- Contrastar la homogeneidad de los poblados para inferir una jerarquía funcional (χ^2).
- Interacción con las áreas de captación abiótica según la distancia (ARL y ARM).

Para agilizar la gestión de los datos técnicos de cada artefacto arqueológico se implementan las tablas de variables cuantitativas y cualitativas en el *software* estadístico SPSS. De esta forma, el cálculo de las variables se sistematiza automáticamente.

5. Análisis locacional a mesoescala

En el Análisis Multivariante Locacional el objetivo es inferir los condicionantes geomorfológicos, topográficos, hídricos, ecológicos y socioeconómicos que inciden en la localización exacta de cada yacimiento. Para tal fin, es indispensable construir una tipología analítica sistemática de cada *Unidad Geomorfológica de Asentamiento* (Figs. 6 y 7) mediante el ACL y ACP; entendiendo



FIG. 5. Secuencia metodológica completa de restitución, interpolación y superposición de MDE y MDT. La interpolación del ejemplo se ha realizado con la técnica IDW, Inverse Distance Weighting.

por UGA el área habitacional de reproducción social y de actividad económica inmediata de 500 m y 1 km de radio (Hagget, 1976; Moreno *et al.*, 1992; Nocete, 1994; Molinos *et al.*, 1994; Picazo, 1998; Marcos, 2006). A estos autores se remite para una mayor comprensión de los fundamentos teóricos y metodológicos. Asimismo, es un método válido para inferir una parte de la alteración postdeposicional, mediante la correlación espacial de la dispersión con las variables geomorfológicas.

Según las Leyes del álgebra matricial del Análisis Multivariante el número de individuos debe doblar a las variables (Mallo, 1985; Hair *et al.*, 1999). Esto produce una limitación metodológica para correlacionar la totalidad de variables que afectan a las decisiones locacionales por cada atribución cultural. Además, hay que establecer los objetivos teóricos. Si un objetivo es crear una tipología locacional, el incluir otras variables medioambientales sesgará la clasificación por la atracción de sus pesos factoriales. Con este criterio se sugieren las siguientes fases en la estructuración del Análisis Locacional sincrónico y diacrónico, con 44 variables para 162 yacimientos:

- ACL y ACP por Atribución Cultural de variables geomorfológicas, topográficas e hídricas para crear una tipología, tendencias y correlaciones: Neolítico, Calcolítico y Edad del Bronce.
- ACL y ACP Global de variables geomorfológicas, topográficas e hídricas para crear una tipología final y poder contrastar si difieren las tendencias y correlaciones.
- ACP Global de variables medioambientales, geomorfológicas, topográficas, hídricas, ecológicas, postdeposicionales y socioeconómicas. El objetivo no es establecer una tipología sino contrastar mediante múltiples correlaciones la estructura subyacente de varios fenómenos, integrando el SPSS con el SIG mediante los MDE y MDT.

En un estudio preliminar se demostró que ésta es la mejor estructuración, puesto que las correlaciones del Análisis Global diferían significativamente de las efectuadas en los análisis de cada atribución cultural. En la Tabla 1 se resumen las variables de cálculo de cada yacimiento, parámetros, conceptos y técnicas del análisis. En epígrafes posteriores se explican muy brevemente otros MDE y MDT del Análisis Territorial de los cuales se derivan algunas variables que retroalimentan el ACP Global.

6. Análisis contextual

En este apartado del diseño metodológico se debe proceder a *contextualizar* el Análisis Morfo-técnico-Cultural y el Análisis Funcional con el Análisis Locacional. La premisa es que puede existir una correlación espacial significativa entre las categorías estructurales y la distribución porcentual de ciertos morfotipos con la tipología de emplazamientos y su funcionalidad. Es muy plausible que en los poblados de altura se realicen diferentes actividades socioeconómicas que en el llano, máxime si existe una jerarquía territorial. Igualmente, que en los Centros Complementarios de diferentes biotopos y ecotonos, al explotar diferentes recursos bióticos y abióticos, se depositen los morfotipos de forma diferencial. Por no decir de las cuevas sepulcrales y estructuras funerarias, donde la industria lítica está representada por morfotipos muy reiterados.

Analizar estos aspectos es fundamental. La metodología de este objetivo es un Análisis de

VARIABLES DEL ANÁLISIS MULTIVARIANTE LOCACIONAL	PARÁMETROS Y CONCEPTOS TEÓRICOS	TÉCNICAS DE ANÁLISIS, FASES Y SOFTWARE
Índice de pendiente del área geomorfológica de 1 km de radio (%).	Altitud máxima menos altitud mínima de 1 km de radio, dividido entre la distancia, y por 100. Las pendientes, altitudes, alturas relativas y amesetamientos condicionan la habitabilidad, la flora y fauna, la productividad agraria, los pastos, el control visual y la defensa.	ACL y ACP por Atribución Cultural y Global. SPSS, SIG y MDT TIN.
Altitud absoluta del yacimiento.	Metros sobre el nivel del mar.	<i>Ibid.</i>
Índice de altura relativa de 1 km de radio (A) (ratio): de 0,9 a 1 en la Sierra de Atapuerca.	Altitud absoluta del yacimiento dividida entre la altitud máxima del área de 1 km de radio. Cuantifica si un asentamiento se ubica en la parte más baja de 1 km de radio.	<i>Ibid.</i>
Índice de altura relativa de 1 km de radio (B) (ratio): de 1 a 1,1 en la Sierra de Atapuerca.	Altitud absoluta del yacimiento dividida entre la altitud mínima del área de 1 km de radio. Nos cuantifica si un asentamiento se ubica en la parte más alta de 1 km de radio. El valor de 1,1 es el máximo alcanzable por un hipotético asentamiento ubicado en el Alto de San Vicente, no existiendo una cota mayor.	<i>Ibid.</i>
Índice de pendiente de 500 m de radio (%).	Altitud máxima menos altitud mínima de 500 m de radio en el eje de la menor diferencia de curvas de nivel, dividido entre la distancia, y por 100.	<i>Ibid.</i>
Orientación de la pendiente de 500 m de radio.	La orientación se calcula con el MDT de Orientación, con <i>output</i> en grados sobre los ejes cardinales.	<i>Ibid.</i>
Índice de la pendiente real más pronunciada de 500 m de radio (%).	La P.R.P. es igual a la altitud máxima menos altitud mínima de 500 m de radio en el eje de la mayor diferencia de curvas de nivel, dividido entre la distancia, y por 100.	<i>Ibid.</i>
Orientación de la pendiente real más pronunciada de 500 m de radio.	La orientación se calcula con el MDT de Orientación, con <i>output</i> en grados sobre los ejes cardinales.	<i>Ibid.</i>
Índice de Amesetamiento o accesibilidad de 500 m de radio (%).	El amesetamiento es una de las formas del relieve que no coinciden con las pendientes de 500m de radio, a excepción de farallones rocosos y acantilados. La fórmula es: Distancia de la pendiente real más pronunciada de 500 m de radio, dividida entre la altitud máxima de la misma, y por 100. Nos cuantifica la accesibilidad y la forma del relieve: mesas simétricas y asimétricas, cerros, espigones, colinas, replanos y muelas.	<i>Ibid.</i>
Coefficiente de Compacidad de Hagget.	Define la forma de la UGA, ya que ésta es un límite físico de la actividad económica y de las posibilidades defensivas. La fórmula es 4 por el área del asentamiento, dividido entre la longitud máxima del mismo al cuadrado. La ratio va desde 3,14, compacidad total o circular, hasta 0, ausencia de compacidad.	<i>Ibid.</i>
Distancia al río Arlanzón (arteria principal).	Metros de distancia al cauce actual y la llanura de inundación.	ACL y ACP por Atribución Cultural y Global. SPSS, SIG, MDTH.
Distancia al río Vena (arteria tributaria 1).	Metros de distancia al cauce actual y la llanura de inundación.	
Distancia al río Pico (arteria tributaria 2).	Metros de distancia al cauce actual.	
Distancia a los arroyos y fuentes secundarias.	Metros de distancia al arroyo secundario o fuente más cercana.	
Coste energético vertical de acceso hídrico.	Diferencia de altitud al flujo hídrico más próximo. Altitud absoluta del yacimiento menos altitud absoluta del flujo hídrico.	
Índices de productividad agraria de 1 km de radio (%).	Digitalización mediante criterios edáficos, hídricos, topográficos y geológicos de 7 tipos de suelos plasmados en un mapa de productividad agraria georreferenciado. Con el SIG, por cada yacimiento, se miden las hectáreas de cada tipo de suelo en cada radio, calculando la media ponderada según extensión, porcentaje del área total y los índices porcentuales de productividad de cada tipo de suelo.	ACL y ACP por Atribución Cultural y Global. SPSS, SIG y MDTPA.
Índices de productividad agraria de 2 km de radio (%).		
Km ² de visibilidad en 1 km de radio. Área de habitación y subsistencia básica.	La visibilidad es un factor de control de los medios de producción, factor de defensa, factor de control de las rutas pecuarias y logísticas de mínimo coste. También, es un factor de comunicación visual entre los asentamientos y un factor de control de los mismos. Por tanto, su cuantificación tiene múltiples aplicaciones. Por ejemplo, para saber qué porcentaje del área de captación está sujeto al control visual y poderlo contrastar con el área visual de los polígonos Thiessen. Para saber qué grado de control visual hay sobre el área inmediata de un poblado. Asimismo, para concretar qué tipo de visibilidad general sobre un valle ejerce cada asentamiento: Unifocal o Multifocal y Concentrada o Dispersa. En conclusión, no sólo hay que cuantificar los km ² de visibilidad, el n.º de asentamientos visibles, sino también el n.º de polígonos que crea la zona visible; es decir, si sólo crea uno se habla de visibilidad concentrada u homogénea, si crea varios es dispersa. Igualmente, si la visibilidad es circular se dice que es multifocal. Si es longitudinal, por ejemplo perpendicular a un valle, es unifocal. El control de estos 4 parámetros tiene una gran relevancia para inferir la estructura jerárquica del territorio, los cuales serán contrastados con los análisis funcionales, locacionales y territoriales. Un ejemplo es el prototipo de castro jerárquico situado sobre un cerro de alta compacidad, que tiende a mostrar una visibilidad de tipo multifocal y concentrada.	ACL y ACP por Atribución Cultural y Global. SPSS, SIG y MDTV.
N.º de polígonos visibles en 1 km de radio.		ACL y ACP por Atribución Cultural. SPSS, SIG y MDTV.
N.º de asentamientos visibles en 1 km de radio.		ACL y ACP por Atribución Cultural y Global. SPSS, SIG y MDTV.
Km ² de visibilidad en el área de captación de 5 km de radio.		ACL y ACP por Atribución Cultural. SPSS, SIG y MDTV.
N.º de asentamientos visibles en 5 km de radio.		ACL y ACP por Atribución Cultural. SPSS, SIG y MDTV.
Km ² de visibilidad de larga distancia circunscrita al área de prospección.		ACL y ACP por Atribución Cultural y Global. SPSS, SIG y MDTV.
N.º de asentamientos visibles desde larga distancia circunscrita al área de prospección.		ACL y ACP por Atribución Cultural. SPSS, SIG y MDTV.
N.º de asentamientos intervisibles.	Por cada yacimiento se calcula el n.º de yacimientos que muestran con el mismo una relación de intervisibilidad. Una vez que se proyecta en el MDT la red de intervisibilidad, se puede calcular con la Teoría de Grafos el epicentro o lugar central. Si este lugar central coincidiese con el poblado más importante, en el ámbito funcional y locacional, sería un nuevo criterio para inferir la estructura jerárquica del territorio.	<i>Ibid.</i>

Distancia a las Rutas de Mínimo Coste. Least Cost Path y Cost Surface.	Mediante la interpolación de los MDT de altitud, pendiente e hidrología se pueden derivar un MDT de Costes de Distancia, MDT de Costes de Fricción y un MDT de Rutas de Mínimo Coste. Estos modelos cuantifican los factores de movimiento vertical y horizontal mediante la fricción de la altura y la pendiente que afecta a la movilidad. Con estos MDT se puede crear un mapa de rutas óptimas para contrastar con la ubicación de los poblados y monumentos funerarios. También, se puede medir la mejor ruta al área de captación de un recurso en función de la distancia isocrónica, e inferir las rutas pecuarias y de movilidad logística por los espacios de menor fricción.	ACL y ACP por Atribución Cultural y Global. SPSS, SIG, MDTCF, MDTC y MDTRMC.
Grado de Radiación Solar anual e Insolación potencial en el solsticio de verano.	La insolación que recibe una cueva o un asentamiento condiciona la habitabilidad del mismo y la actividad económica, siendo una variable a contrastar para analizar las decisiones locacionales. La insolación potencial de un punto depende de la irradiación solar en ausencia de nubosidad, de la latitud, de la trayectoria estacional del sol o declinación solar, del ángulo horario dependiente de la hora del día, y del ocultamiento topográfico. Todos estos parámetros pueden ser fácilmente controlados en un MDT de Insolación y Radiación Solar, cuyos píxeles cuantifican la irradiación y las horas de sol. Para construir el modelo se requiere interpolar varios MDT: altitud, pendiente, sombra acimutal-angular y orientación. Si bien se puede cuantificar cualquier día del año, con los solsticios y equinoccios es suficiente para un contraste.	ACL y ACP por Atribución Cultural y Global. SPSS, SIG, MDT TIN, MDTIR y MDTIP.
Grado de Radiación Solar anual e Insolación potencial en el solsticio de invierno.		
Distancia al 1.º vecino más próximo.	Con estas variables se establece una correlación entre la superficie del Polígono Thiessen (km ²) y la distancia (km). Si la correlación baja del 1.º vecino al 2.º y de éste a la media del 5.º vecino, se puede inferir que no existe un área de influencia o territorio político. Esto es así, porque lo lógico es que exista mayor correlación con la media de los 5 vecinos más próximos que cierran el polígono que con los dos primeros.	ACL y ACP por Atribución Cultural. SPSS, SIG y MDTN.
Distancia al 2.º vecino más próximo.		
Distancia media a 5 vecinos más próximos.		
Km ² del Polígono Thiessen.	Si el tamaño de la dispersión no es representativo del tamaño original, no debería existir ninguna correlación con el tamaño del Polígono Thiessen. Si existiera una correlación alta ésta no sería al azar, porque el tamaño del polígono sólo depende de los vecinos más próximos.	ACL y ACP por Atribución Cultural. SPSS, SIG y MDTTH.
Índice del tamaño de la dispersión de los artefactos ⁵ .	Hectáreas calculadas con los planos de concentración parcelaria a escala 1:7000 superpuestos a los MDE vectoriales y MDT.	ACP Global. SPSS, SIG y MDT TIN.
Pendiente de la dispersión de los artefactos del eje mayor (%).	Altitud máxima de los restos antrópicos menos la altitud mínima de los mismos, dividido entre la distancia según el eje mayor, y por 100.	Ibid.
Pendiente de la dispersión de los artefactos del eje menor (%).	Altitud máxima de los restos antrópicos menos la altitud mínima de los mismos, dividido entre la distancia según el eje menor, y por 100.	Ibid.
Orientación de la pendiente mayor de los artefactos.	La orientación se calcula con el MDT de Orientación, con <i>output</i> en grados sobre los ejes cardinales.	Ibid.
Orientación de la pendiente menor de los artefactos.	La orientación se calcula con el MDT de Orientación, con <i>output</i> en grados sobre los ejes cardinales.	Ibid.
Densidad de artefactos por yacimiento.	Número de artefactos por metro cuadrado según el tamaño de la dispersión.	Ibid.
Índice de drenaje de 500 m de radio (nulo/bajo/medio/alto).	Se puede interpolar un MDT de Red de Drenaje y Acumulación de Flujo Hídrico con la superposición de los MDT de altitud, pendiente, curvatura y rugosidad. Esta variable cualitativa automáticamente se convierte a cuantitativa en los MDT, permitiendo contrastar la decisión locacional de ubicar un asentamiento en estas zonas de riesgo. En los aspectos postdeposicionales es una variable muy relevante, porque las características del relieve determinan las pautas de la circulación del agua y de la solifluxión de sedimentos y artefactos en las pendientes.	ACL y ACP por Atribución Cultural y Global. SPSS, SIG, MDTC y MDTH.
Índice de suelos de 500 m de radio (arenas/margas/arcillas/mixtas).	Esta variable cualitativa se convierte a cuantitativa en los MDT, mediante la digitalización y proyección de los mapas edáficos, geológicos y de usos del suelo.	ACL y ACP por Atribución Cultural y Global. SPSS, SIG y MDT de Suelos.
Índice de ubicación geomorfológica de 500 m de radio (terrazas/páramo/rañas/sierra).	Esta variable cualitativa se convierte a cuantitativa en los MDT, mediante la digitalización y proyección de los mapas geomorfológicos.	ACL y ACP por Atribución Cultural y Global. SPSS, SIG y MDT de Geomorfología.
Distancia al biotopo de ribera, bosque de galería.	Km de distancia a la llanura de inundación de la red hídrica principal, no a los arroyos.	ACL y ACP por Atribución Cultural y Global. SPSS, SIG y MDT de Geología, Geomorfología, Edafología y Usos del Suelo.
Distancia al biotopo de pradera.	Km de distancia a las llanuras aluviales y terrazas bajas, probablemente las primeras áreas sujetas a deforestación en la Prehistoria Reciente.	
Distancia al biotopo de matorral y bosque.	Km de distancia a la Sierra de Atapuerca y al Páramo, estructuras con una base litológica caliza muy apta para las variedades de <i>Quercus</i> sp.	

TABLA 1. Cuadro resumen de conceptos, variables, parámetros y técnicas del Análisis Multivariante Locacional.

⁵ La Regla de Rango-Tamaño utilizada para inferir jerarquías territoriales no es aplicable a un estudio de prospección, ya que en ningún caso se puede precisar con exactitud el tamaño original de un asentamiento. Sin embargo, se incluye en el ACP el tamaño de la dispersión lítica para establecer correlaciones con las variables topográficas y poder determinar el grado de alteración de los yacimientos. Asimismo, se pueden incluir correctivos geomorfológicos para clasificar los poblados según su tamaño teórico y poder aplicar la regla. Si se aplica debe ser con carácter meramente exploratorio y no confirmatorio de resultados. En igualdad de condiciones, si un yacimiento es el doble de grande que otro y muestran las mismas características locacionales, edáficas y postdeposicionales, sí pudieran ser representativos del tamaño original. Este método es factible en los poblados en llano, lejos de los cauces y las pendientes, ya que *a priori* el tamaño de la dispersión que crea el laboreo agrícola es directamente proporcional al tamaño original. Al integrar los datos con el análisis locacional y territorial se puede sugerir la jerarquización.

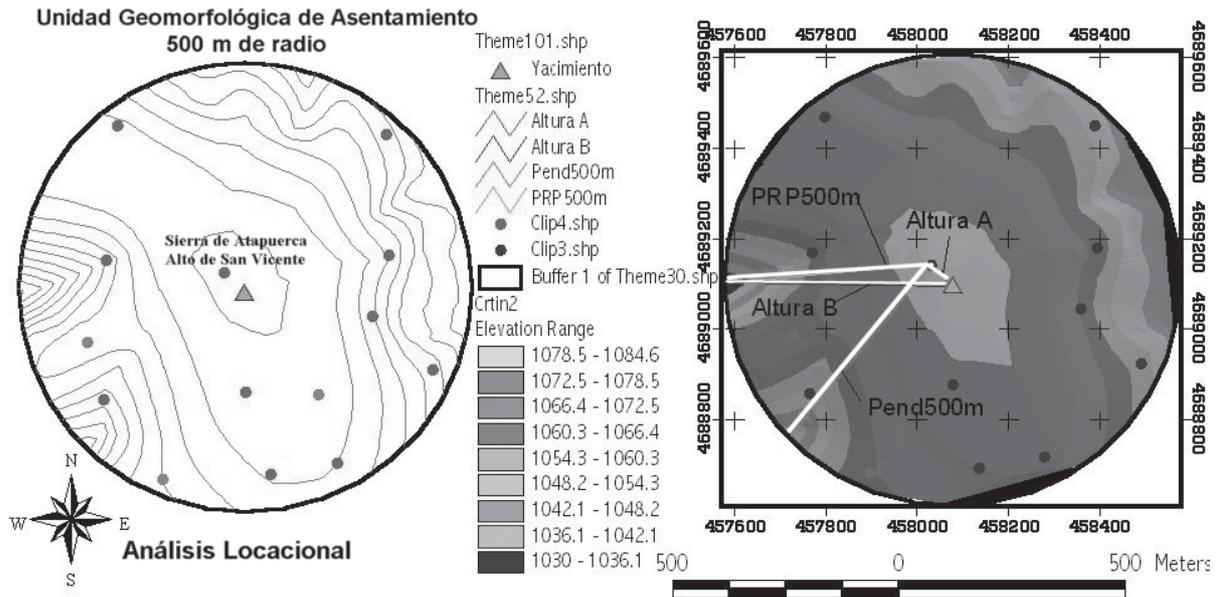


FIG. 6. Proceso de extracción de la UGA de 500 m de radio y proyección de los vectores de las variables.

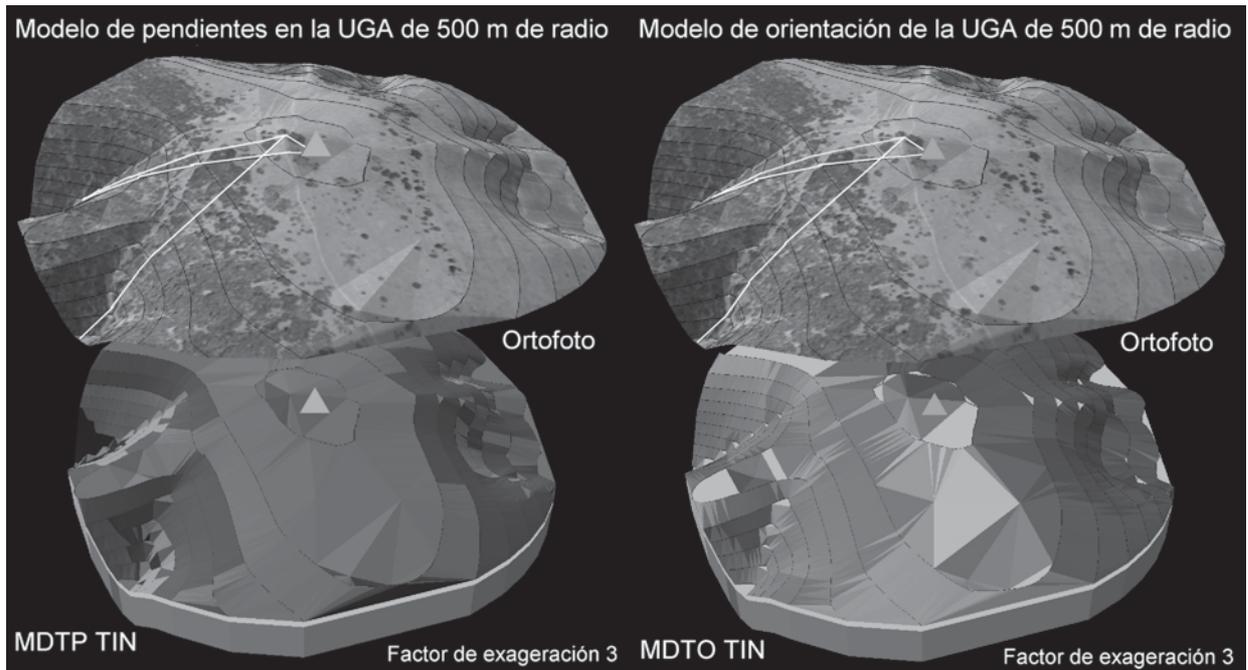


FIG. 7. Proceso de interpolación de la pendiente y orientación de la UGA de 500 m de radio. Compruébese que el vector de la dispersión del yacimiento coincide con el vector de la Altura Relativa A, con una pendiente del 3% y una orientación sureste de 129°. Por el contrario, no coincide con los vectores de las pendientes y de la Altura Relativa B. La pendiente más pronunciada de 500 m de radio es del 10,6%, medida según la distancia y altitudes de los nodos opuestos del vector, con una orientación noroeste que vira de 240° a 320°.

Correspondencias (AFC) en el SPSS, mediante una tabla de contingencia entre las categorías locacionales, categorías estructurales y distribución de morfotipos. Cada fila de la matriz representa un morfotipo general o una categoría estructural, y las columnas las tipologías funcionales y locacionales. Se cuantifican los efectivos de cada morfotipo o cada categoría por cada tipología, se correlacionan y se extraen los pesos y factores. El gráfico factorial asociará las variables para poder inferir si existe una relación significativa entre la funcionalidad, el emplazamiento y los instrumentos de producción más relevantes.

Otro método de aplicación en el *Análisis Contextual* es comprobar si existen diferencias significativas en la funcionalidad y en el emplazamiento por fases culturales. Un ejemplo, en el ACL del Neolítico se han detectado varios asentamientos clasificados en 4 tipos locacionales distribuidos en 4 tipos funcionales. La técnica es construir una tabla de contingencia donde las filas representan los tipos

funcionales y las columnas los tipos locacionales del Análisis Cluster. Con el Chi-cuadrado Global se calcula la tabla de efectivos y se contrasta si los emplazamientos se distribuyen aleatoriamente en los tipos funcionales. Si el χ^2 es significativo se rechaza la hipótesis nula, infiriendo que ciertos emplazamientos dependen de la funcionalidad socioeconómica: Poblados de 1.º y 2.º grado y Centros Complementarios. Por último, con la Fi-Cuadrado (ϕ^2) (Shennan, 1992) se comprueba objetivamente si hay asociación. Dentro del proceso deductivo e inductivo de *input* y *output*, las conclusiones del *Análisis Contextual* servirán para plantear nuevas hipótesis e inferencias en el *Análisis Territorial*.

7. Análisis territorial (macroescala)

El objetivo del Análisis Territorial es completar las limitaciones del Análisis Locacional (500 m a 5 km de radio), ya que éste no examina la totalidad

MORFOTIPOS	ANÁLISIS FUNCIONAL (TIPOS DEL ACL)				ANÁLISIS LOCACIONAL (TIPOS DEL ACL)				TOTAL
	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	
DIENTES DE HOZ									
ETC.									
TOTAL									

TABLA 2. Ejemplo de matriz de contingencia para el Análisis de Correspondencias Contextual de morfotipos con la tipología funcional y locacional.

CATEGORÍAS ESTRUCTURALES	ANÁLISIS FUNCIONAL (TIPOS DEL ACL)				ANÁLISIS LOCACIONAL (TIPOS DEL ACL)				TOTAL
	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	
BN2G									
ETC.									
TOTAL									

TABLA 3. Ejemplo de matriz de contingencia para el Análisis de Correspondencias Contextual de categorías estructurales con la tipología funcional y locacional.

ANÁLISIS FUNCIONAL (TIPOS DEL ACL)	ANÁLISIS LOCACIONAL (TIPOS DEL ACL)				NEOLÍTICO
	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	TOTAL
TIPO I					
TIPO II					
TIPO III					
TIPO IV					
TOTAL					

TABLA 4. Ejemplo de matriz de contingencia para el Chi-cuadrado de tipos locacionales y funcionales por cada atribución cultural.

TIPO DE ANÁLISIS TERRITORIAL	CONCEPTOS TEÓRICOS, MÉTODOS Y PARÁMETROS
Tipo de patrón global	Análisis del vecino más próximo. El índice oscila entre 0 y 2,149: con una distribución aleatoria cuando $R = 1$, concentrada cuando $R < 1$ y dispersa, uniforme o regular para $R > 1$ (<i>vid.</i> Hodder y Orton, 1990). El análisis se puede realizar de forma rápida con la extensión del Vecino Más Próximo del SIG. Previamente, hay que tener la totalidad de yacimientos en una capa vectorial con su correspondiente etiqueta en la tabla de atributos alfanuméricos. Una vez determinado el patrón de cada fase se realiza un nuevo contraste con la inclusión de yacimientos indeterminados para ver si el patrón varía. Si no hay cambios significativos, es un criterio de validez del modelo.
Tipo de patrón del Neolítico	
Tipo de patrón del Calcolítico	
Tipo de patrón de la Edad del Bronce	
Tipo de patrón de túmulos y dólmenes	Se pretende contrastar si la distribución, representativa de la estructura territorial, difiere en cada valle o es el mismo sistema.
Tipo de patrón del Neolítico por cada Valle	
Tipo de patrón del Calcolítico por cada Valle	
Tipo de patrón del Bronce por cada Valle	
Asociación espacial de poblados con centros complementarios	Test de Asociación Espacial por cada Atribución Cultural. Con el χ^2 se examina la diferencia entre las asociaciones PP, CC, PC y CP en una tabla de contingencia. La asociación se mide con el <i>Coefficiente S de Segregación</i> de Pielou, con un índice de +1 (disociación) a -1 (asociación) (<i>vid.</i> Hodder y Orton, 1990; Shennan, 1992).
Asociación espacial de poblados con cuevas	
Asociación espacial de poblados con túmulos y dólmenes	
Asociación espacial de centros complementarios con cuevas	
Asociación espacial de centros complementarios con túmulos y dólmenes	
Asociación espacial de poblados neolíticos con biotopos	
Asociación espacial de poblados calcolíticos con biotopos	Si hay equis km ² de prospección con equis poblados, a cada equis km ² de un biotopo, bajo la hipótesis nula, le corresponden proporcionalmente equis poblados. Si el χ^2 es significativo, se puede inferir una decisión locacional por un determinado biotopo. Este aspecto es relevante al comparar las preferencias por atribuciones culturales, contrastando si varían en el tiempo. La distribución se compara con un test de asociación mediante una tabla de contingencia (<i>vid.</i> Hodder y Orton, 1990; Shennan, 1992). Otro aspecto a tener en cuenta es la asociación de las estructuras funerarias con los vacíos poblacionales (<i>Black Hole</i>), relevante para inferir espacios simbólicos, sagrados y epicentros de un territorio tribal.
Asociación espacial de poblados del Bronce con biotopos	
Asociación espacial de túmulos y dólmenes con biotopos	
Asociación espacial de poblados con rutas de mínimo coste	
Asociación espacial de centros complementarios con rutas de mínimo coste	SIG, MDT Cost Surface y Cost Distance: Ver variables de la Tabla 1 y Fig. 8.
Asociación espacial de túmulos y dólmenes con rutas de mínimo coste	
Contraste de la productividad agraria entre fases culturales	
Modelos de Visibilidad e Intervisibilidad	Se puede realizar una tabla de contingencia entre atribuciones culturales contrastando si existen diferencias significativas en la media de productividad agraria con el Test de Varianza (<i>vid.</i> Tabla 1). Si hay diferencias hay que inferir el porqué: diversificación, más ganadería o más agricultura.
Intervisibilidad Topológica, Teoría de Grafos y Teoría del Lugar Central	Ver la Tabla 1 del Análisis Locacional. Se analiza la visibilidad zonal e intervisibilidad de asentamientos, túmulos y dólmenes con MDT y SIG. En estos últimos es interesante contrastar las zonas desde donde el megalito es visualizado por otros (visibilidad indirecta).
Áreas de Captación de recursos bióticos	Una vez realizado un MDE vectorial con la red de intervisibilidad se puede analizar mediante el n.º de vectores y nodos el Lugar Central de la red, contrastando la jerarquización del territorio. Un ejemplo de las matrices e índices matemáticos puede verse en Polo (1996).
Análisis del "Punto de Equilibrio" de los territorios de explotación mediante Modelos de Gravedad	Las áreas de captación de 5 km de radio propuestas por el <i>Site Catchment Analysis</i> deben ser proyectadas según la distancia isocrónica, ya que el relieve es anisotrópico. El cálculo se puede realizar con los MDT de Costes de Distancia y Fricción según la altitud y la pendiente. Previamente, hay que realizar un MDE de <i>Buffers</i> vectorial. Es interesante comprobar si los límites de los polígonos coinciden con barreras medioambientales: ríos, arroyos, crestas, cordales, barrancos, etc. De coincidir significativamente, sería un criterio más de la validez del modelo y para la inferencia de la capacidad de acogida del territorio.
Polígonos Thiessen ponderados y Modelos de Gravedad	Los Modelos de Gravedad están basados en la concepción física de Newton, entre tamaño y distancia. En este análisis se analizan las intersecciones de las áreas de captación de 5 km de radio, buscando el <i>punto de equilibrio</i> mediante una ecuación del tamaño del asentamiento y la distancia (Mayoral, 1984). Con el resultado del punto de equilibrio podemos cortar los <i>buffers</i> con el SIG e inferir de forma más objetiva los territorios de explotación. Es interesante comprobar si los límites del punto de equilibrio coinciden con barreras medioambientales: ríos, arroyos, crestas, cordales, barrancos, etc. De coincidir significativamente, sería un criterio más de la validez del modelo.
Regla de Rango-Tamaño	Para cuantificar las áreas de influencia se utilizan los MDT y algoritmos de la extensión Thiessen, con cálculo de distancias euclidianas. Los polígonos se ponderan según la tipología funcional, locacional y el tamaño del asentamiento. Es interesante comprobar si los límites de los polígonos coinciden con barreras medioambientales: ríos, arroyos, crestas, cordales, barrancos, etc. De coincidir significativamente, sería un criterio más de la validez del modelo. Otro aspecto es correlacionar el tamaño del asentamiento con la distancia a otros de igual tamaño, realizando un histograma de tamaños (pequeños, medianos y grandes) y distancias.
	Sobre la aplicación de la misma en estudios de prospección ver la nota 8. La regla se deriva de los modelos del Lugar Central analizando en un gráfico logarítmico el efecto del tamaño de cada asentamiento y el n.º de ellos según su rango. La distribución puede adoptar tres perfiles para inferir la jerarquización: cóncava, convexa y primo-convexa (<i>vid.</i> Hodder y Orton, 1990)

Contraste de Umbrales de subsistencia con los Polígonos Thiessen ponderados según el tamaño del asentamiento y las Áreas de Captación	Por <i>umbral de subsistencia</i> se entiende las hectáreas necesarias de terreno para alimentar a una persona por año. En el Imperio Romano, según Plutarco, Columela y Licurgo (<i>vid.</i> Urbina, 2000), era de 0,5 ha (1 <i>actus</i> o 2 <i>iugera</i>), terreno que se daba a los colonos. Según este autor, se consideran necesarios unos 200 kg de grano por persona y año, aunque si hay animales de tiro se necesitan más tierras para alimentarlos. Según Chayanov (1974; cit. Urbina, 2000), las familias rusas de 6 miembros solían cultivar 11 ha de terreno. Para Urbina se puede estimar el umbral de subsistencia en un promedio de 1 ha por persona. Estos datos son de gran interés porque la mayoría de asentamientos de la Prehistoria Reciente estarían integrados por unas pocas familias. En esta economía de subsistencia, un 1 km de radio (314 ha) de tierras muy productivas sería suficiente para alimentar a 28 familias o 168 personas; es decir, un 20% del radio de 5 km propuesto en el <i>Site Catchment Analysis</i> . No obstante, esto depende de la técnica agrícola, barbechos y de la necesidad de pastos y bosque. Aquí se justifica el porqué de cuantificar la productividad agraria en 1 y 2 km de radio en el Análisis Locacional, más que suficiente para sociedades con bajo desarrollo técnico. En el Análisis Territorial, de forma exploratoria y predictiva, se puede contrastar el umbral de subsistencia con la superficie del polígono ponderado según el tamaño del asentamiento. Si el Polígono Thiessen es menor que el umbral habrá que inferir la causa desde el Análisis de Redes. También, es interesante ajustar con el SIG el polígono al umbral de subsistencia, de tal forma que los Polígonos Thiessen queden aislados. Si se siguen apiñando sería un criterio de validez de que la distancia entre los asentamientos fue una decisión locacional premeditada.
Análisis de Redes e Intrarredes Territoriales	En este análisis se deben contrastar las variables locacionales y territoriales por tipos de asentamientos y por valles. Por ejemplo: ¿Los asentamientos en alto del Valle del Arlanzón tienen similares polígonos, patrón, asociación, distancias al vecino más próximo, tamaño, visibilidad e intervisibilidad y características socioeconómicas que los del Valle del Vena? ¿Y los del llano? Es posible que los del llano sean homogéneos en los dos valles pero los de altura no. De ser cierta esta hipótesis, se puede avanzar en la inferencia de dos estructuras territoriales distintas o de una sola pero más jerarquizada. Otra técnica es el Análisis de Intrarredes. Analizando la red de conexión topológica entre los asentamientos, los vértices y nodos, se pueden detectar los centros que articulan cada red dentro de la red global. En Arc/Info el comando de algoritmos es <i>Locate/Allocate</i> . Un ejemplo de este análisis puede verse en Mackie (2001).
MDT de Radiación Solar e Insolación potencial	Ver variables de la Tabla 1.
MDT de Drenaje y Flujo hídrico	Ver variables de la Tabla 1.
MDT de Rutas de mínimo coste y fricción	Ver variables de la Tabla 1.
MDT de Visibilidad	Ver variables de la Tabla 1.
Evaluación Multicriterio (EM)	Estas técnicas analíticas se han desarrollado con los últimos procesadores informáticos y los SIG, correlacionando píxel a píxel múltiples variables. En el mundo de los SIG se denominan como Modelos de Idoneidad mediante diferentes técnicas: modelos lógicos (<i>Boolean Logic</i>), bayesianos, regresión logística, perfiles corregidos y lógica borrosa (<i>Fuzzy logic</i>). El objetivo es mostrar lo adecuado de un territorio para la presencia de un grupo taxonómico vegetal, animal o humano (Felicísimo, 1994; Barredo, 1996). Se combinan varios mapas temáticos con datos empíricos disponibles que condicionan la distribución del poblamiento, argumentando o desechando una hipótesis sobre su distribución espacial. Destacar los programas ARC/SDM3 y ARC/WOFE, con extensiones para realizar <i>Fuzzy logic</i> , <i>Weights of Evidence</i> , Regresión múltiple y análisis de redes neuronales. Estos métodos son muy versátiles para realizar modelos predictivos y extrapolar el patrón de asentamiento a otras zonas sin prospectar. Ejemplos arqueológicos se pueden ver en: Stancic <i>et al.</i> (2001), Vanacker (2001) y Gojda (2001). Otro aspecto que se puede abordar con estas técnicas es la Arqueología de la Ausencia o vacíos poblacionales, <i>Black Hole</i> en la literatura anglosajona, ya que si en un espacio con buenas características medioambientales no hay asentamientos habrá que inferir el porqué.
Métodos de MonteCarlo y Autocorrelación Espacial	El Método MonteCarlo parte de las distribuciones de probabilidad de las variables más influyentes para contrastarlas con los números aleatorios, haciendo un muestreo de forma simulada de todo el territorio. Son necesarios todos los MDT de cada variable temática y el MDE de distribución de yacimientos. Se calculan los píxeles totales del MDT (población total) y los píxeles de cada yacimiento (muestra de población). El yacimiento se puede estimar como un <i>buffer</i> de píxeles de 500 m de radio. Con el Chi-cuadrado se compara la probabilidad de cada yacimiento con cada categoría de la población total (N). Por ejemplo, drenaje bueno/malo, suelos de margas/no margas, calizas/no calizas, etc.; es decir, tantos píxeles de yacimientos de una fase cultural en cada categoría. Si el Chi-cuadrado es significativo, se infiere una decisión premeditada en una determinada categoría (Vanacker, 2001).
MDT Predictivos de Erosión	Con objeto de analizar la alteración postdeposicional se puede realizar con el SIG un MDT de Erosión predictivo, extrapolado de la Ingeniería Forestal. Obviamente, el MDT mide el riesgo de erosión actual, pero ésta ha sido un proceso continuo desde la Prehistoria Reciente por la deforestación progresiva. El MDT proporciona unos valores cuantitativos continuos que se pueden correlacionar con el tamaño de la dispersión de los yacimientos. El enfoque es meramente exploratorio de un fenómeno arqueológico, aunque sería significativo si los yacimientos más grandes coincidiesen con las zonas de mayor riesgo erosivo. Para construir el MDT se ha de interpolar un MDT de pendientes, un MDT de altitud, un MDT de orientaciones, un MDT hídrico, rasterizar los mapas de usos del suelo, geomorfológico y geológico, superponer todos los MDT y aplicar la extensión, generando el MDT de erosión reclasificado.
Análisis Integral	En este análisis se cuantifican las medias de todas las variables locacionales y territoriales por cada atribución cultural. Las medias se contrastan en una tabla de contingencia con el Test del Anova, para inferir diferencias significativas en la evolución, articulación y jerarquización del patrón a lo largo del proceso histórico. También, se puede construir un MDT predictivo para extrapolar.

TABLA 5. Cuadro resumen de conceptos, variables, parámetros y técnicas del Análisis Territorial e Integral.

del universo de variables medioambientales y socioeconómicas del área de prospección. En esta fase de la secuencia metodológica se deben contrastar diferentes aspectos macroespaciales, condicionantes y decisiones locacionales cuya síntesis de los modelos es la siguiente:

Modelos Socioeconómicos: Tipo de patrón global (R), por fases culturales y por valles. Asociación de Poblados y C. Complementarios, de Poblados con biotopos, con cuevas, con santuarios, con túmulos y dólmenes. Áreas de captación biótica y abiótica, Intersección de Territorios de Explotación (*buffers*), Modelos de Gravedad o Interacción Interasentamientos, Modelos de Rango-Tamaño, Modelos de Visibilidad Zonal (unifocal o multifocal y concentrada o dispersa), Modelos de Intervisibilidad (Teoría de Grafos del Lugar Central), Rutas de Mínimo Coste y Fricción (Movilidad Pecuaría y Logística), Análisis de Redes Territoriales e inferencia del poblamiento itinerante o sedentario, Proyección de Territorios Políticos-Económicos ponderados (Polígonos Thiessen) y contraste con los Territorios de Explotación, Modelos de Visibilidad, Umbrales de Subsistencia, tamaño del asentamiento, tipo de poblamiento, tipo de patrón y vacíos poblacionales (*Black Hole*). Contraste del Análisis de Redes por grandes unidades del relieve (valles) y por atribuciones culturales.

Modelos Medioambientales: Análisis de Tendencia, Autocorrelación Espacial y Evaluación Multicriterio (MDT, SIG y Método MonteCarlo), MDT de Radiación Solar e Insolación Zonal, MDT de Orientación, MDT Hídricos de Drenaje y Acumulación de Flujo, MDT de Costes de Distancia y Fricción Topográfica. Para una comprensión más profunda de estos métodos se remite a varios autores: Hodder y Orton, 1990; Shennan, 1992; Polo, 1996; Barredo, 1996; De Silva y Pizziolo, 2001; Fano, 1998; Felicísimo, 1994; Urbina, 2000; Stancic *et al.*, 2001; Vanacker, 2001; Gojda, 2001; Fairén, 2004.

Evidentemente, el explicar con detalle estos fenómenos supera con creces las limitaciones propias de un artículo, con lo que se desglosan y sintetizan los conceptos y métodos en un cuadro resumen (Tabla 5). Muchos de los modelos territoriales, aunque no con el desglose propuesto, han sido reiteradamente aplicados en la Arqueología del Paisaje con mayor o menor precisión, siendo de interés en este epígrafe proyectar las nuevas tendencias de MDT con el SIG (Figs. 8, 9, 10 y 11).

8. Discusión

En este artículo se ha diseñado una secuencia metodológica de Arqueología del Paisaje para una prospección *sistemática intensiva de cobertura total*. El registro arqueológico se basa en 162 yacimientos de superficie, varias cuevas con excavaciones sistemáticas y una decena de estructuras funerarias, entre megalitos y túmulos. En los asentamientos de superficie en posición secundaria no es factible la realización de estudios a microescala por problemas postdeposicionales, siendo los registros kársticos imprescindibles para contextualizar el territorio a nivel paleoecológico.

La dinámica del diseño teórico-metodológico se debe concertar desde la siguiente secuencia: Análisis Morfotécnico-Cultural, Análisis Funcional, Análisis Locacional (mesoescala), Análisis Contextual, Análisis Territorial (macroescala) y Análisis Integral (Fig. 12). Esta estructuración es muy coherente porque se consigue extraer con cada análisis una serie de proposiciones que *a priori* damos por verdaderas. Las hipótesis se añaden al siguiente análisis para derivar hipótesis más complejas, estructuradas en una secuencia lógica-deductiva. Un ejemplo es la importancia de incluir en el ACP Locacional la simbología del ACP Funcional, ya que poblados de distinta entidad pueden mostrar estrategias de asentamiento contrarias, requiriendo un porqué cuya respuesta puede solventar el Análisis Contextual y Territorial.

Las decisiones locacionales de una sociedad, y por ende la evolución del Patrón de Asentamiento, son sumamente complejas y no pueden reducirse a unas pocas variables. En este trabajo metodológico se ha sugerido teóricamente cómo son decenas las variables que intervienen: medioambientales, geomorfológicas, topográficas, hídricas, ecológicas, económicas, tecnológicas, culturales y sociales; siendo un complejo fenómeno arqueológico de difícil resolución. En consecuencia, para evadir un escepticismo metodológico se deben integrar desde una teoría social coherente los enfoques procesuales y postprocesuales. De lo contrario, se estaría realizando una praxis arqueológica con un marcado reduccionismo económico y/o ambiental. La Arqueología del Paisaje no tiene por objetivo utópico la restitución total de la realidad pretérita, sino contrastarla mediante aspectos arqueológicos empíricamente observables.

Del planteamiento teórico se deriva el porqué de la necesidad de la integración de la Estadística Multivariante e Inferencial con los Sistemas de

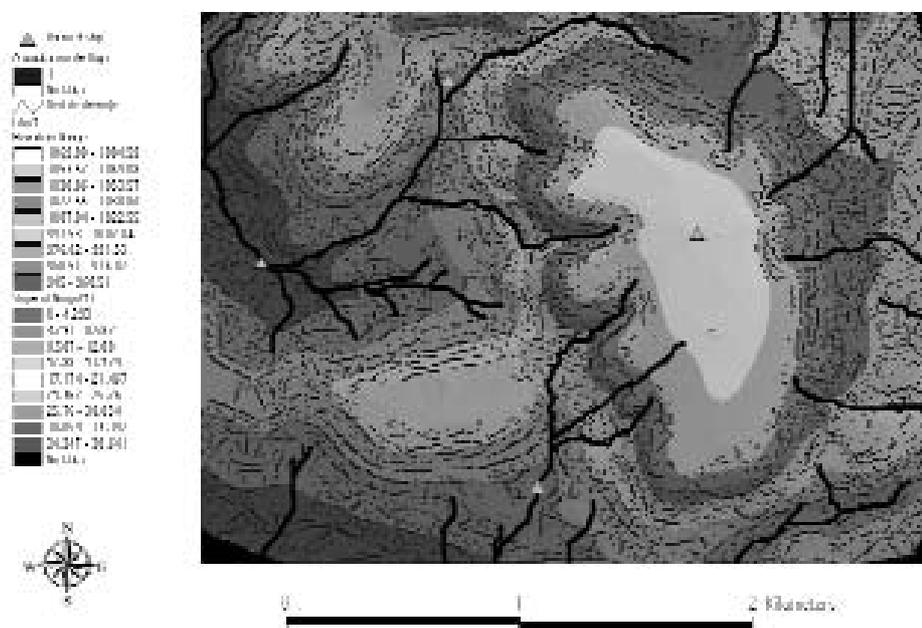


FIG. 8. Proceso de interpolación del MDT de Red de Drenaje y Acumulación de Flujo hídrico (escorrentías).

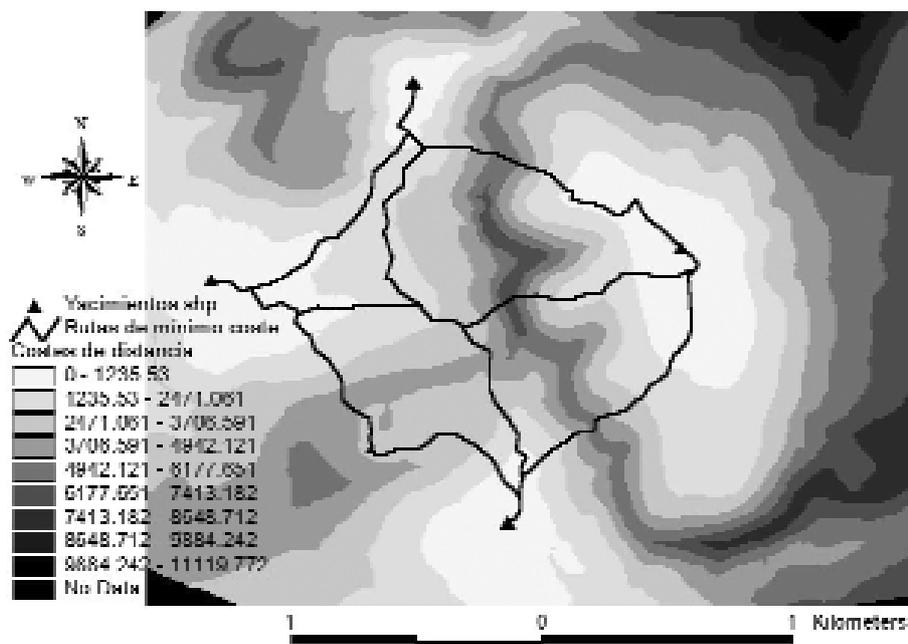


FIG. 9. Proceso de interpolación desde los MDT de Pendientes, Orientación y Fricción del MDT de Costes de distancia para Rutas de Mínimo Coste. Un MDT de Fricción es un Grid donde cada píxel expresa una unidad de coste, calculado por la pendiente y la dirección del movimiento. Un píxel con una pendiente del 10% no representa un 10% de fricción sobre un píxel de 0% de pendiente, no es proporcional, sino que para atravesar de un píxel de 0% a uno de 10% de pendiente hay una ratio. La ratio es una función anisotrópica que calcula el coste en términos de tiempo de desplazamiento o energía consumida, siendo posible modelizar el área de captación de cada yacimiento.

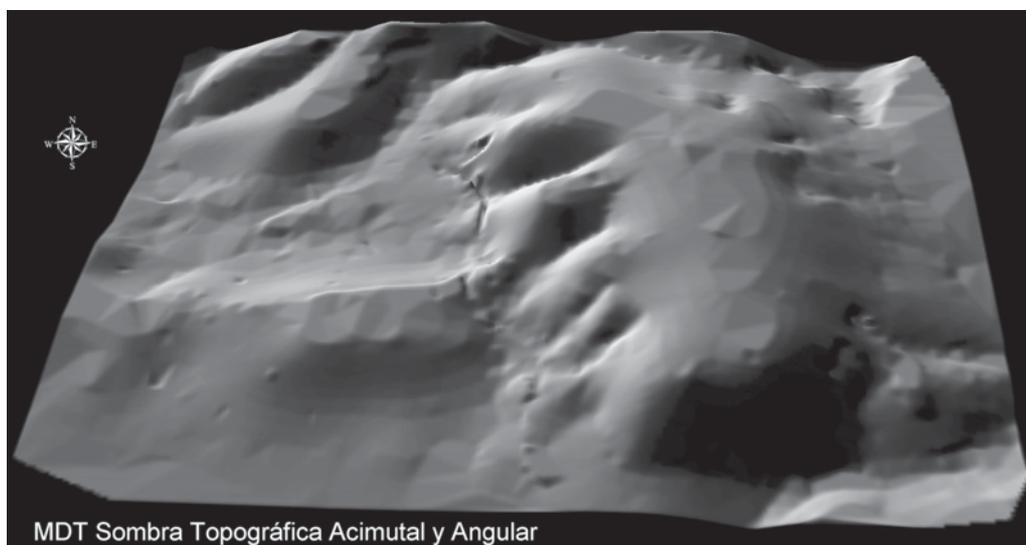


FIG. 10. MDT de Sombra Topográfica Acimutal (315°) y Angular (45°) interpolado desde los MDT de Altitud, Pendiente y Orientación. La localización del sol viene expresada por las coordenadas geográficas, el acimut respecto al Norte (0-360°) y la elevación angular sobre el horizonte (0-90°) de cada hora, día y mes del año. Según estos parámetros se puede calcular la insolación potencial de un área (horas de sol/día) para cualquier periodo del año, mediante la creación y suma binaria de MDT a intervalos de tiempo por cada día. La insolación no sólo es un factor de la calidad de vida de un poblado sino que determina, con las umbrías y solanas, la distribución de la vegetación.

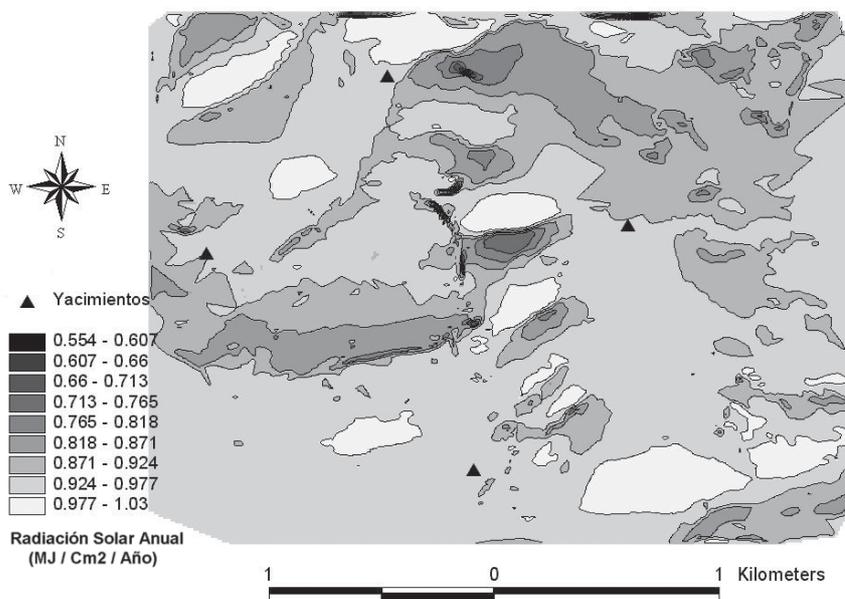


FIG. 11. MDT de Radiación Solar Anual interpolado desde los MDT de Altitud, Pendiente, Orientación y Sombra Topográfica Acimutal y Angular. La radiación solar anual se mide en MJ/cm²/año. Para calcular el MDT se requieren los modelos del relieve citados y los siguientes parámetros: latitud y longitud del área de estudio; declinación solar que varía desde +/- 23° entre los solsticios de verano e invierno; ángulo horario sobre un círculo de 360°; acimut y elevación angular del sol. En el ejemplo se observa cómo la falda Sur de la Sierra de Atapuerca es una de las zonas con mayor radiación solar anual, debido a la orientación y a la pendiente promediada del 30%. Coherentemente, la Trincherca del ferrocarril excavada en la caliza de la Sierra muestra los valores más bajos.

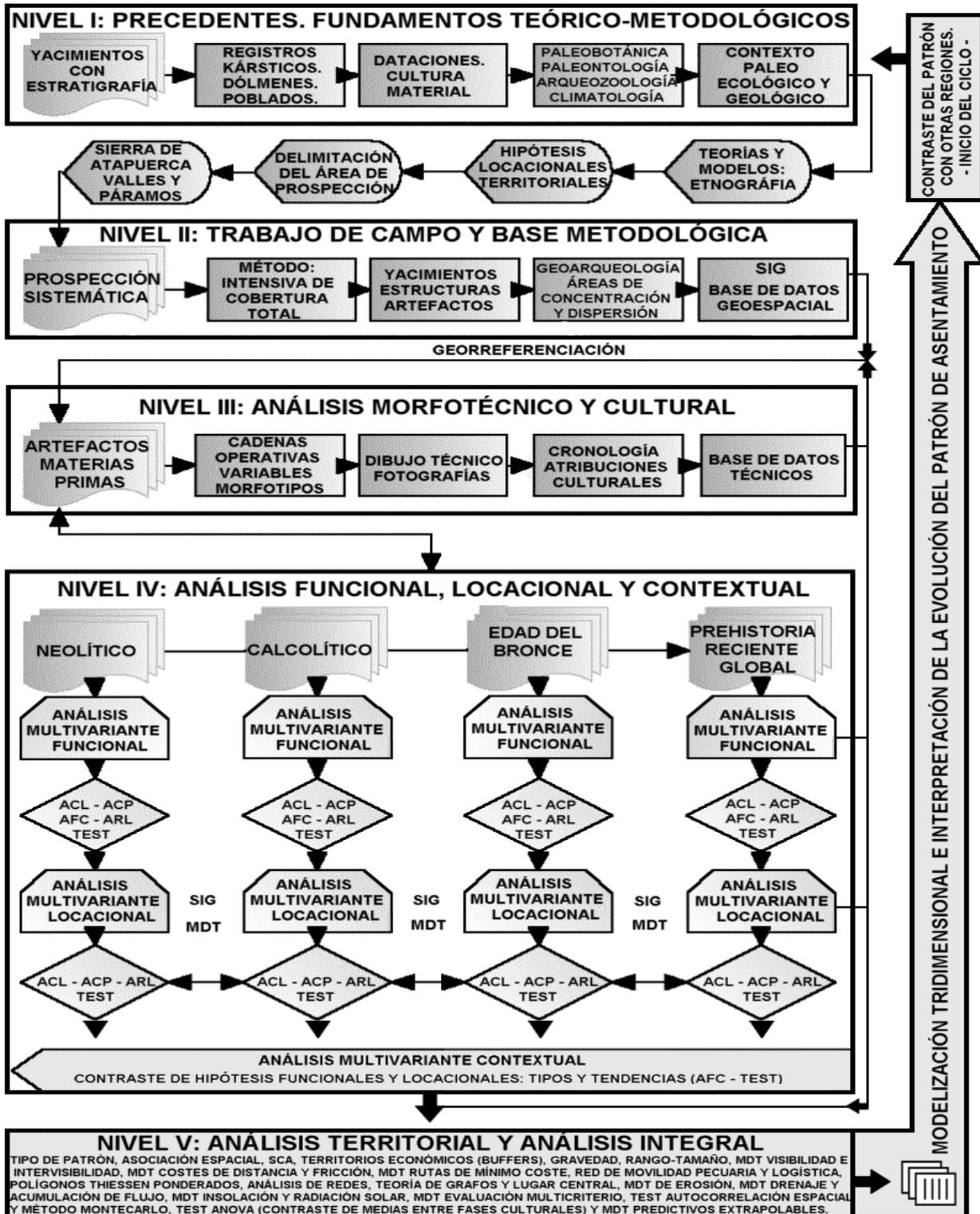


FIG. 12. Diagrama secuencial del diseño metodológico propuesto.

Información Geográfica. Dado que la evolución del patrón de asentamiento es un fenómeno pluridimensional, se requiere el concurso de estas técnicas para reducir la complejidad de las variables. La reducción con la mínima pérdida de variabilidad sólo es posible científicamente desde la taxonomía numérica, los análisis factoriales y discriminantes. La capacidad de contextualización, descripción, explicación e inferencia probabilística de la Estadística Multivariante está demostrada en las ciencias naturales y sociales para analizar realidades complejas. La evolución del patrón de asentamiento es una realidad histórica muy compleja, por tanto, sólo inteligible desde un enfoque multidisciplinar.

La conectividad automatizada de la Estadística Multivariante e Inferencial con los SIG aporta más objetividad, al cuantificar múltiples datos arqueológicos, económicos, sociales y medioambientales, correlacionarlos y concretar estructuras subyacentes imposibles de detectar por otros medios. Los Modelos Digitales del Terreno (MDT) interpolados desde el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) han sido la última revolución metodológica para tal propósito: altitud, pendientes, orientación, curvatura, rugosidad, red de drenaje, acumulación de flujo hídrico, erosión, visibilidad e intervisibilidad, *buffers* de distancia, sombra topográfica acimutal y angular, radiación solar, insolación potencial, costes de desplazamiento, rutas óptimas y modelos tridimensionales. Con los MDT se correlacionan las variables cuantitativas continuas de los mapas temáticos píxel a píxel, tabla a tabla, interpolando nuevos mapas y modelos socioeconómicos complejos; contrastando hipótesis funcionales, locacionales y territoriales con el Álgebra de Mapas, Evaluación Multicriterio (EM), Autocorrelación Espacial y Análisis de Redes Topológicas.

La integración en el diseño metodológico de las técnicas multivariantes y de los MDT debe ser implementada como un instrumento de análisis, no como el último objetivo. No se trata de hacer un alarde de cibernética, sino comprender que las técnicas ofrecen una alta resolución espacial del fenómeno arqueológico por la capacidad de retroalimentación, *input-output*, y por la constante generación de nuevas hipótesis que se agregan a las primigenias en un ciclo estadístico continuado.

En conclusión, el diseño secuencial de la metodología propuesta es de gran eficacia porque del *Análisis Morfotécnico-Cultural* y *Análisis Funcional* se trasciende del análisis de los artefactos a la funcionalidad del asentamiento, precisando los productos y desechos, objetos de trabajo, instrumentos de

producción, desarrollo y organización técnica y secuencia cronológica cultural de una sociedad pretérita. Porque del *Análisis Locacional* y *Análisis Contextual* se trasciende del análisis del emplazamiento a la inferencia de los medios de producción, las estrategias económicas de subsistencia y las relaciones sociales. Porque el *Análisis Territorial* trasciende de la interpolación de los MDT a la interrelación de los asentamientos, las áreas de captación biótica y abiótica, territorios político-económicos, umbrales de subsistencia, intervisibilidad entre asentamientos y estructuras funerarias, rutas de movilidad pecuaria, rutas de movilidad logística y de mínimo coste, redes locacionales y territoriales, asociación de poblados polifuncionales y polilocacionales con biotopos, ecotonos, cuevas, túmulos y dólmenes, espacios simbólicos, santuarios sagrados y vacíos poblacionales. Por último, el *Análisis Integral*, síntesis y correlación de los anteriores y el contexto paleoecológico, económico y tecnológico de los registros kársticos permite inferir la ordenación, articulación y jerarquización del territorio en su evolución diacrónica-sincrónica y dinámica-dialéctica. Es decir, sugerir desde una teoría social coherente la restitución histórica del Neolítico a la Edad del Bronce en su práctica espacial, desde la economía al plano simbólico, cuyos restos parciales fosilizan en el paisaje social.

9. Conclusiones

La Arqueología del Paisaje, entendiendo que *espacio físico*, *paisaje* y *territorio* no son sinónimos, requiere la integración tripartita de una Teoría Social, la Estadística Multivariante e Inferencial y un Sistema de Información Geográfica (SIG). El diseño metodológico propuesto, con algunas técnicas novedosas, permite un análisis muy completo desde una prospección sistemática intensiva de cobertura total, siendo muy relevante para modelizar los patrones de asentamiento de la Prehistoria Reciente. No obstante, es un diseño abierto a nuevas teorías, técnicas, variables y enfoques interdisciplinarios. Las conclusiones y ventajas del diseño metodológico se pueden sintetizar en las siguientes:

- Viabilidad para interpolar mapas digitales a escala 1:10.000, con curvas equidistantes de 5 m, a MDT con 1 m de resolución por píxel y curvas equidistantes de 1 m.
- Alta resolución para georreferenciar los poblados y la dispersión de los artefactos.

- Potencialidad de la información al combinar formato raster y vectorial.
- Alta conectividad entre la Estadística Multivariante e Inferencial y el SIG.
- Rapidez de cálculo y tabulación de múltiples variables con el mínimo error.
- Implementación de técnicas medioambientales y del Análisis Espacial en el SIG.
- Facilidad para la gestión, obtención y correlación de factores derivados de los MDT.
- Retroalimentación de variables e hipótesis locales derivadas de los MDT.
- Automatización en la autocorrelación de capas temáticas para generar otras nuevas.
- Resolución de factores postdeposicionales, medioambientales y socioeconómicos.
- Procesado sistemático deductivo del fenómeno arqueológico mediante una secuencia analítica progresiva, desde el artefacto a la estructura del territorio.
- Posibilidad de extrapolación de los resultados a otras áreas con los MDT predictivos.
- Modelización tridimensional del territorio mediante la interpolación de MDT y TIN.
- Mayor objetividad en la interpretación de la evolución del patrón de asentamiento.

En cuanto a las limitaciones para un uso generalizado por los arqueólogos, citar la necesidad de una buena comprensión de la metodología de la Estadística Multivariante e Inferencial y del SIG. Además, se requiere un conocimiento de las técnicas analíticas de interpolación y de álgebra de mapas para proyectar, ajustar y ponderar las variables. Con estos requisitos se evitará que los errores iniciales se propaguen a los resultados.

Bibliografía

- ALLEN, K.; GREEN, S. y ZUBROW, E. (eds.) (1990): *Interpreting Space: GIS and Archaeology*. London: Ed. Taylor and Francis.
- BAENA, J.; BLASCO, C. y QUESADA, F. (eds.) (1999): *Los SIG y el Análisis Espacial en Arqueología*. Madrid: UAM ediciones, 310 pp.
- BARREDO, J. I. (1996): *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio*. Madrid: Ed. Ra-Ma.
- BAXTER, M. J. (1994): *Exploratory Multivariate Analysis in Archaeology*. Edinburgh: Ed. University Press.
- BENITO, A. y PÉREZ-GONZÁLEZ, A. (2005): "Restitución estadística de los perfiles longitudinales fluviales en el Valle medio del río Arlanzón: primeros resultados de la reconstrucción de paleo-relieves cuaternarios en la Sierra de Atapuerca". En SANTONJA, M.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A. y MACHADO, M. J. (eds.): *Geoarqueología y Patrimonio en la Península Ibérica y el entorno mediterráneo*. Soria: Ed. ADEMA-Patrimonio, pp. 449-460.
- BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M.; ARSUAGA, J. L.; CARBONELL, E. y RODRÍGUEZ, J. (eds.) (1999): *Atapuerca nuestros antecesores*. Valladolid: Ed. Junta de Castilla y León.
- BOISMIER, W. A. (1997): *Modelling the effects of tillage processes on artefacts distributions in the ploughsoil. A simulation study of tillage-induced pattern formation*. BAR, British International Series, 259. Oxford.
- BOSQUE, J. (1992): *Sistemas de información geográfica*. Madrid: Ed. Rialp.
- BUTZER, K. W. (1989): *Arqueología, una ecología del hombre*. Barcelona: Ed. Bellaterra.
- CARBONELL, E.; ROSAS, A. y Díez, J. C. (eds.) (1999): *Atapuerca: Ocupaciones humanas y paleoecología del yacimiento de Galería*. Memorias de la Junta de Castilla y León, 7. Zamora.
- CHUVIECO, E. (1996): *Fundamentos de Teledetección espacial*. Madrid: Ed. Rialp.
- COMAS, D. y RUIZ, E. (1993): *Fundamentos en Sistemas de Información Geográfica*. Barcelona: Ed. Ariel.
- DE SILVA, M. y PIZZIOLO, G. (2001): "Setting up a Human Calibrated Anisotropic Cost Surface for archaeological Landscape Investigation". En STANCIC, Z. y VELJANOVSKI, T. (eds.): *Computing archaeology for understanding the past*. CAA 2000. Computer applications and quantitative methods in Archaeology. BAR, British International Series, 931. Oxford, pp. 279-285.
- DÍEZ, J. C.; MORAL, S. y NAVAZO, M. (2003): *La Sierra de Atapuerca. Un viaje a nuestros orígenes*. Burgos: Ed. Fundación Atapuerca.
- EIROA, J. J.; BACHILLER, J. A.; CASTRO, L. y LOMBA, J. (1999): *Nociones de tecnología y tipología en Prehistoria*. Barcelona: Ed. Ariel Historia.
- FAIRÉN, S. (2004): "¿Se hace camino al andar? Influencia de las variables medioambientales y culturales en el cálculo de caminos óptimos mediante SIG", *Trabajos de Prehistoria*, 61 (2), pp. 25-40.
- FANNING, P. y HOLDAWAY, S. (2001): "Stone Artifact Scatters in Western NSW, Australia: Geomorphic Controls on Artifact Size and Distribution", *Geoarchaeology: An International Journal*, vol. 16, n.º 6, pp. 667-686.
- FANO, M. A. (1998): "La insolación como factor condicionante en la elección de los espacios destinados al hábitat: Propuesta metodológica y primeros resultados para el Mesolítico del Cantábrico occidental", *Arqueología del Paisaje. Arqueología Espacial*, 19-20, pp. 121-134.
- FELICÍSIMO, A. M. (1994): *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las Ciencias Ambientales*. Ed. Universidad de Oviedo.
- FISH, S. K. y KOWALEWSKI, S. A. (1990): *The archaeology or regions: a case for full coverage survey*. Washington, D. C.: Smithsonian Institution Press.

- FORTEA, J. (1973): *Los complejos microlaminares y geométricos del Epipaleolítico mediterráneo español*. Salamanca.
- FREEMAN, A. (2000): "Application of High-Resolution Alluvial Stratigraphy in Assessing the Hunter-Gatherer / Agricultural Transition in the Santa Cruz River Valley, Southeastern Arizona", *Geoarchaeology: An International Journal*, vol. 15, n.º 6, pp. 559-589.
- GÓMEZ, M. y BARREDO, J. (2005): *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio*. Madrid: Ed. RA-MA.
- GOJDA, M. (2001): "Archaeology and landscape studies in Europe: approaches and concepts". En DARVILL, T. y GOJDA, M. (eds.): *One Land, Many Landscapes*. BAR, British International Series, 987. Oxford, pp. 9-18.
- HAGGET, R. (1976): *Análisis Locacional en Geografía Humana*. Barcelona: Ed. Gustavo Gili.
- HAIR, J.; ANDERSON, R.; TATHAM, R. y BLACK, W. (1999): *Análisis Multivariante*. Madrid: Ed. Prentice Hall Iberia.
- HODDER, I. y ORTON, C. (1990): *Análisis Espacial en Arqueología*. Barcelona: Ed. Crítica.
- LOCK, G. y STANCIC, Z. (eds.) (1995): *Archaeology and Geographical Information Systems. A European perspective*. London: Ed. Taylor and Francis.
- MACKIE, Q. (2001): *Settlement Archaeology in a Fjordland Archipelago. Network Analysis, Social Practice and the Built Environment of Western Vancouver Island, British Columbia, Canada since 2000 BP*. BAR, British International Series, 987. Oxford.
- MALLO, F. (1985): *Análisis de Componentes Principales y técnicas factoriales relacionadas*. Ed. Universidad de León.
- MARCOS, F. J. (2006): *La Sierra de Atapuerca y el Valle del Arlanzón. Patrones de Asentamiento Prehistóricos*. Burgos: Ed. Dossolos.
- MAYORAL, F. (1984): "Contribución a la delimitación del territorio de los asentamientos protohistóricos. Aplicación de un Modelo de Gravedad", *Arqueología Espacial*, 1, pp. 73-87.
- MERINO, J. M. (1994): "Tipología Lítica". *Munibe*, Suplemento n.º 9. San Sebastián: Ed. Sociedad de Ciencias Aranzadi.
- MOLDES, J. (1995): *Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Ed. RA-MA.
- MOLINOS, M.; RISQUEZ, C.; SERRANO, J. L. y MONTILLA, S. (1994): *Un problema de fronteras en la periferia de Tartessos. Las calañas de Marmolejo (Jaén)*. Publicaciones de la Universidad de Jaén.
- MORENO, M. A. (2004): *Megalitismo y Geografía: Análisis de los factores de localización espacial de los dólmenes de la Provincia de Burgos*. Serie Studia Archaeologica, n.º 93. Publicaciones de la Universidad de Valladolid.
- MORENO, A.; CONTRERAS, F. y CÁMARA, J. A. (1992): "Patrones de Asentamiento, Poblamiento y Dinámica Cultural en las tierras altas del Sureste Peninsular. El Pasillo Cullar-Chirivel durante la Prehistoria Reciente", *Cuadernos de Prehistoria de Granada*, 16-17, pp. 191-245.
- NAVAZO, M. (2002): *Asentamientos prehistóricos en la Sierra de Atapuerca*. Burgos: Ed. Monte Carmelo.
- (2006): *Sociedades cazadoras-recolectoras en la Sierra de Atapuerca durante el Paleolítico Medio: patrones de asentamiento y estrategias de movilidad*. Tesis doctoral. Universidad de Burgos.
- NAVAZO, M. y DIEZ, C. (2001): "Patrones de asentamiento y uso del territorio en la sierra de Atapuerca", *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social*, 4, pp. 7-42.
- NOCETE, F. (1994): *La Formación del Estado en las Campiñas del Alto Guadalquivir (3.000-1.500 a. n. e.)*. Tesis Doctoral. Monografía Arte y Arqueología. Publicaciones de la Universidad de Granada.
- OREJAS, A. (1998): "El estudio del paisaje: visiones desde la Arqueología", *Arqueología del Paisaje. Arqueología Espacial*, 19-20, pp. 9-19.
- ORTEGA, J. M. (1998): "De la Arqueología Espacial a la Arqueología del Paisaje: ¿Es Annales la solución?", *Arqueología del Paisaje. Arqueología Espacial*, 19-20, pp. 33-51.
- PICAZO, J. V. (1998): "Estadística Multivariante y Análisis Territoriales. Su aplicación para el estudio de la Edad del Bronce en Teruel", *Citerior*, 2, pp. 29-75.
- POLO, C. (1996): "Análisis Topológicos: Algunas aplicaciones en Arqueología", *Arqueología Espacial*, 15, pp. 37-49.
- SHENNAN, S. (1992): *Arqueología Cuantitativa*. Barcelona: Ed. Crítica.
- STANCIC, Z. y VELJANOVSKI, T. (eds.) (2001): *Computing archaeology for understanding the past. CAA 2000. Computer applications and quantitative methods in Archaeology*. BAR, British International Series, 931. Oxford.
- STANCIC, Z.; VELJANOVSKI, T.; OSTIR, K. y PODOBNIKAR, T. (2001): "Archaeological Predictive Modelling for Highway Construction Planning". En STANCIC, Z. y VELJANOVSKI, T. (eds.): *Computing archaeology for understanding the past. CAA 2000. Computer applications and quantitative methods in Archaeology*. BAR, British International Series, 931. Oxford, pp. 233-238.
- TILLEY, C. (1994): *A Phenomenology of Landscape*. Oxford: Ed. Berg.
- URBINA, D. (2000): *La Segunda Edad del Hierro en el Centro de la Península Ibérica. Un estudio de Arqueología Espacial en la Mesa de Ocaña, Toledo, España*. BAR, British International Series, 855. Oxford.
- VANACKER, V.; GOVERS, G. y VAN PEER, P. (2001): "Environmental controls on Mesolithic Locational behaviour in the northeast of Belgium". En DARVILL, T. y GOJDA, M. (eds.): *One land, many landscapes*. BAR, British International Series, 987. Oxford, pp. 75-83.
- VICENT, J. M. (1991): "Fundamentos teórico-metodológicos para un programa de investigación arqueogeográfica". En LÓPEZ, P. (dir.): *El cambio cultural del IV al II milenios a. C en la Comarca Noroeste de Murcia*, vol. I. Madrid: CSIC. Documentación, pp. 31-117.