

# SIG y Paisajes Virtuales en 3D. Posibilidades de divulgación de la Prehistoria Reciente de la Sierra de Atapuerca

Francisco Javier Marcos Sáiz

Área de Prehistoria de la Universidad de Burgos. España.

## Resumen

*La Arqueología ha desarrollado varias perspectivas teóricas y metodológicas con la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los Modelos Digitales del Terreno (MDT), la Realidad Virtual (RV) y los Modelos 3D. En la divulgación se ha iniciado un progreso paulatino por ubicar los yacimientos en su contexto medioambiental con la generación virtual del entorno topográfico y ecológico. El objetivo es analizar las posibilidades de divulgación del poblamiento de la Prehistoria Reciente del entorno de la Sierra de Atapuerca (Burgos), -VI al II milenio cal. BC-, mediante la modelización y animación 3D por video de Paisajes Virtuales con SIG. Se concluye que los Vuelos Virtuales con SIG son una herramienta fundamental para la divulgación gráfica del poblamiento prehistórico, máxime con sitios arqueológicos de prospección.*

**Palabras Clave:** SIG, PAISAJE Y VUELO VIRTUAL, MDT - 3D, PREHISTORIA RECIENTE, SIERRA DE ATAPUERCA.

## Abstract

*Archaeology has developed several theoretical and methodological perspectives with the application of the Geographical Information Systems (GIS), Digital Terrain Models (DTM), Virtual Reality (VR) and the 3D Modelling. In the spreading a gradual progress has begun for mapping the sites on its environmental context with the virtual generation of the topographic and ecological features. The aim of this paper is the analysis of the possibilities of spreading of the settlement patterns in the Late Prehistory around Sierra de Atapuerca (Burgos), VI to II millennium cal. BC-. The technical process is the modelling and 3D animation for video of Virtual Landscapes with GIS. The conclusion is that the Virtual Flying with GIS is a fundamental tool for the graphical spreading of the prehistoric settlement, especially with archaeological sites of surveys.*

**Key words:** GIS, LANDSCAPE AND VIRTUAL FLYING, DTM - 3D, LATE PREHISTORY, SIERRA DE ATAPUERCA.

## 1. Introducción y objetivos

La Arqueología ha desarrollado varias perspectivas teóricas y metodológicas con la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los Modelos Digitales del Terreno (MDT), la Realidad Virtual (RV) y los Modelos 3D de formato CAD. Fundamentalmente, la divulgación gráfica y puesta en valor interactiva, la anástilosis o reconstrucción virtual, el análisis cuantitativo, predictivo y la inferencia científica desde diferentes fundamentos metodológicos por la gran variedad de software y técnicas de procesamiento computerizadas. Buenos ejemplos de teoría y praxis son las publicaciones monográficas *Virtual Reality in Archaeology* de los *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology* (BARCELÓ *et al.*, eds. 2000) y la Euroconferencia Internacional VAST2000 titulada *Virtual Archaeology* (NICCOLUCCI, ed. 2002). El primer enfoque teórico se ha centrado sobre las posibilidades de divulgación y visualización digital del patrimonio histórico y arqueológico mediante la modelización de estructuras en formato vectorial y el renderizado con texturas fotográficas de diversos materiales, bióticos y abióticos. En esta tendencia ha habido un progreso paulatino por ubicar las estructuras arqueológicas en su contexto medioambiental con la modelización virtual del entorno

topográfico, hídrico y ecológico. Primero a microescala desde la Arqueología Espacial y el *Intrasite Analysis* y luego a nivel macroescala u *Offsite Analysis*, con la Arqueología del Paisaje y del Territorio desde donde se encuadra este trabajo de investigación.

El complejo arqueopaleontológico de la Sierra de Atapuerca, 15 Km al Este de la ciudad de Burgos, está constituido por una vasta red de galerías con importantes registros kársticos del Pleistoceno y Holoceno (BERMÚDEZ DE CASTRO *et al.* 1999; Díez *et al.* 2003; MARCOS, 2006). Desde la Universidad de Burgos se ha desarrollado un Proyecto de Investigación dirigido por el Dr. Díez, 1999 al 2007, con objeto de analizar la evolución del poblamiento prehistórico del entorno de la Sierra de Atapuerca. El trabajo de campo consistió en la realización de 10 campañas de prospección arqueológica: 8 a macroescala territorial aplicando un método sistemático intensivo de cobertura total sobre 314 Km<sup>2</sup>, 10 Km de radio con epicentro en Cueva Mayor (NAVAZO, 2006); y 2 de tipo sistemático intensivo a microescala sobre cerca de 200 yacimientos del Holoceno, con atribuciones culturales del Neolítico a la Edad del Bronce -VI al II milenio BC- (MARCOS, 2008).

Después del análisis Morfotécnico y tipológico de los artefactos, y de una recopilación y estudio exhaustivo de los informes técnicos de todas las intervenciones arqueológicas del área de estudio, se han georreferenciado más de 200 yacimientos de la Prehistoria Reciente -sitios al exterior, cuevas y estructuras megalíticas- en una Base de Datos Geoespacial SQL con SIG. Así, pues, con esta base documental el objetivo es analizar las posibilidades de divulgación gráfica y virtual del poblamiento de la Prehistoria Reciente del entorno de la Sierra de Atapuerca con una visualización global de todos los yacimientos, atemporal para el público profano, sin evolución diacrónica ni sincrónica, mediante la modelización y animación 3D por video de un Paisaje Virtual con SIG. En definitiva, lo que se pretende es sentar las bases para la creación en el futuro de un modelo virtual más complejo, con una animación en 4D: X, Y, Z y el tiempo (I).

## 2. Límites en la divulgación de un territorio con sitios de prospección

La Sierra de Atapuerca, declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en el año 2000, es un referente mundial para la evolución humana desde más de 1 millón de años hasta la Edad del Bronce. Los registros kársticos son visitados cada año por miles de personas, existiendo incluso animaciones y modelos virtuales de la Trincheras del Ferrocarril y de las cuevas más significativas. Sin embargo, la divulgación virtual del poblamiento prehistórico tiene la principal limitación en que la mayoría de los yacimientos del Neolítico a la Edad del Bronce son al aire libre, detectándose sólo por dispersiones o concentraciones significativas de industria lítica y cerámica. La mayoría de los yacimientos carecen de estructuras habitacionales, bien por motivos paleoeconómicos, funcionales, culturales o por las alteraciones postdeposicionales. En una tercera parte de los casos el carácter habitacional se infiere desde la Estadística Multivariante, con el análisis cuantitativo y cualitativo de los artefactos líticos y cerámicos (MARCOS y DIEZ, 2009); y, por la presencia en los terrenos roturados de manchones orgánicos oscuros que difieren significativamente del color de las arcillas y margas. Otra limitación es que en los escasos yacimientos excavados sólo se detectan estructuras negativas, tal como viene siendo habitual en la Prehistoria Reciente: hoyos, silos, basureros, fondos de cabaña circulares u ovales, zanjas y zonas de estabulación.

Con este panorama ¿cómo se puede divulgar al público un territorio prehistórico si la mayoría de los yacimientos arqueológicos son de prospección? ¿Es acaso preferible prescindir del discurso de la evolución del territorio como proceso histórico? Con la excepción de los túmulos y dólmenes que rodean la Sierra de Atapuerca, el público visitante no puede recorrer 200 sitios porque obviamente no hay casi nada que ver, ni por tierra ni por aire. La propuesta de este estudio para su divulgación es combinando SIG, Fotogrametría, Teledetección, Diseño 3D, visualización dinámica por video de un Vuelo Virtual y una semiótica simple para modelar los puntos vectoriales de los yacimientos. Con ello el público visitante logrará comprender que los registros kársticos de la Sierra de Atapuerca y las estructuras megalíticas no son espacios aislados en el territorio, sino que al exterior siempre hay más actividad económica y social que en las cuevas.

## 3. SIG y Modelado en 3D

En el plano técnico, un SIG es un sistema de hardware, software, bases de datos, extensiones y *scripts* diseñados para la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y contraste de hipótesis espaciales complejas (ALLEN *et al.*, 1990; WHEATLEY y GILLINGS, 2002). La generación de *Modelos Digitales del Terreno* (MDT) ha sido una revolución para la Realidad Virtual, con técnicas de interpolación de bases de datos altimétricas generadas por Fotogrametría, Imágenes Radar de Sensores Remotos (Ikonos, Spot, LandSat VII), y la superposición y curvado de ortofotografías aéreas georreferenciadas. No obstante, los paisajes virtuales que incorporan varias capas en formato vectorial y raster requieren de la interconexión entre los SIG y los software 3D de formato CAD. Si bien es cierto que los SIG implementan formatos y algoritmos especializados en el Análisis Geoespacial, la Geoestadística, la construcción fidedigna de MDT, la proyección y visualización de vuelos virtuales, las posibilidades de construcción de estructuras arqueológicas en 3D y la aplicación de efectos y texturas fotográficas son muy limitadas. La solución metodológica es la interoperatividad entre programas, aunque uno de los principales problemas es la migración de formatos entre el SIG y los software 3D (3ds, Skp) o viceversa, existiendo la propuesta del VRML, *Virtual Reality Modeling Language*.

Los modelos 3D generados con *ArcGIS* pueden tener formato vectorial, raster o mixto. El formato *Vectorial* 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*, *Grid* o *Cobertura* es una estructura de celdillas donde la superficie del modelo 3D está recubierta totalmente por píxeles. Cada píxel mide equis metros del paisaje y tiene tabuladas las coordenadas y un valor por cada variable cuantitativa de análisis. De estos modelos se derivan los TIN, *Triangular Irregular Network*, para interpolar superficies tridimensionales en formato vectorial; 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* 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. Los métodos de interpolación raster que implementa el SIG son el *Spline*, *IDW* y *Kriging*.

## 4. Paisaje y Vuelo Virtual

La Figura 1 muestra el MDT con la distribución de los sitios arqueológicos de la Sierra de Atapuerca: sitios al aire libre, estructuras megalíticas y cuevas. La construcción se ha realizado en varias fases. Primero, se han georreferenciado y proyectado en el mismo sistema de referencia (UTM 30N, ED50) 83 capas vectoriales a escala 1:10.000: 20 de curvas de nivel, 20 de curvas directoras, 20 de puntos de cota, 20 de ríos y 3 de yacimientos arqueológicos. Posteriormente, se han unido en tres mosaicos vectoriales las 60 capas topográficas (Figura 1.A) para interpolar desde ellas el *Modelo Digital de Elevaciones*, MDE: archivo numérico de datos tabulados georreferenciados que representa la altitud de la superficie del terreno (Figura 1.B). Del MDE se.



A.) Mosaico Vectorial de 60 capas. B.) Interpolación del MDE Raster. C.) Interpolación del MDT Sombra.

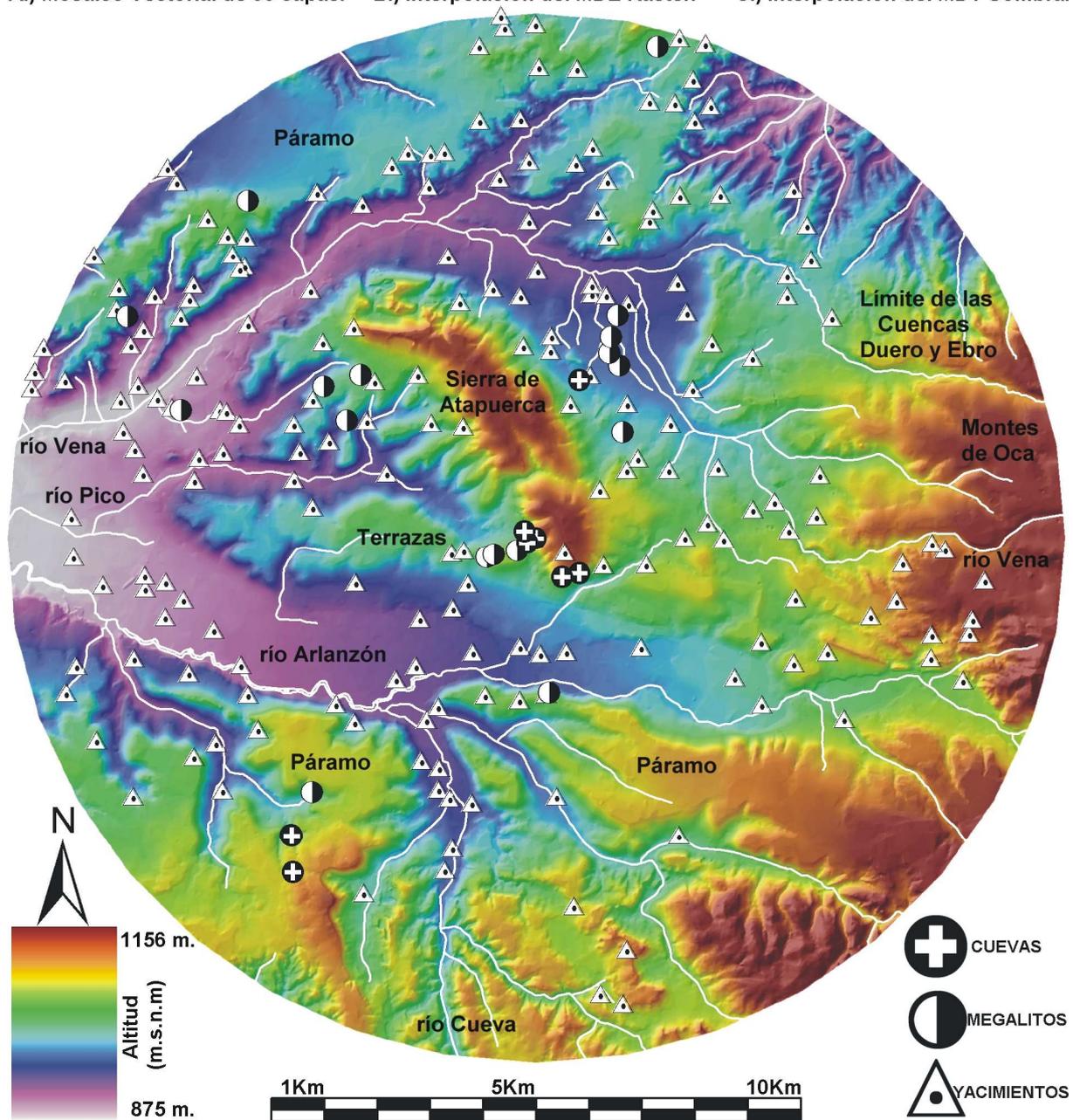


Figura 1. MDT de 10 Km de radio con epicentro en la Cueva Mayor de la Sierra de Atapuerca y distribución de los yacimientos arqueológicos. El proceso integra 83 capas vectoriales y 2 raster.

deriva el MDT de sombra topográfica angular y acimutal (Figura 1.C), que forma la base en formato raster de superposición de las capas de ríos y yacimientos.

En la Figura 2 se ilustra el proceso de generación del Paisaje Virtual en 3D. La ortofotografía es una imagen real geográficamente rectificada que puede ser superpuesta y curvada al MDT en 3D para la modelización virtual. Previamente hay un proceso de proyección, recorte y control del número de filas, columnas, tamaño y escala de los píxeles. Una vez que la ortofoto se curva, según el valor de cada píxel del MDT y del factor de exageración vertical, se superponen las capas vectoriales de los yacimientos, donde los puntos proyectados pueden ser

sustituidos por iconos en 3D. En el ejemplo, se han realizado dos iconos en 3D de extrusión simple (formato skp.) con textura fotográfica de hierba, piedra, madera y adobe: cabaña circular y túmulo megalítico. Asimismo, se ha proyectado una capa vectorial de puntos aleatorios que han sido sustituidos por árboles en 3D. Otra fase ha sido recortar la ortofoto con una máscara raster, con un triple objetivo: respetar la Sierra de Atapuerca con su aspecto actual, eliminar el paisaje agrícola moderno y generar una textura tipo dehesa similar a la Prehistoria Reciente (Figura 2 y 3). Por último, con el Paisaje Virtual en 3D se realiza un Vuelo Virtual grabado con salida de video

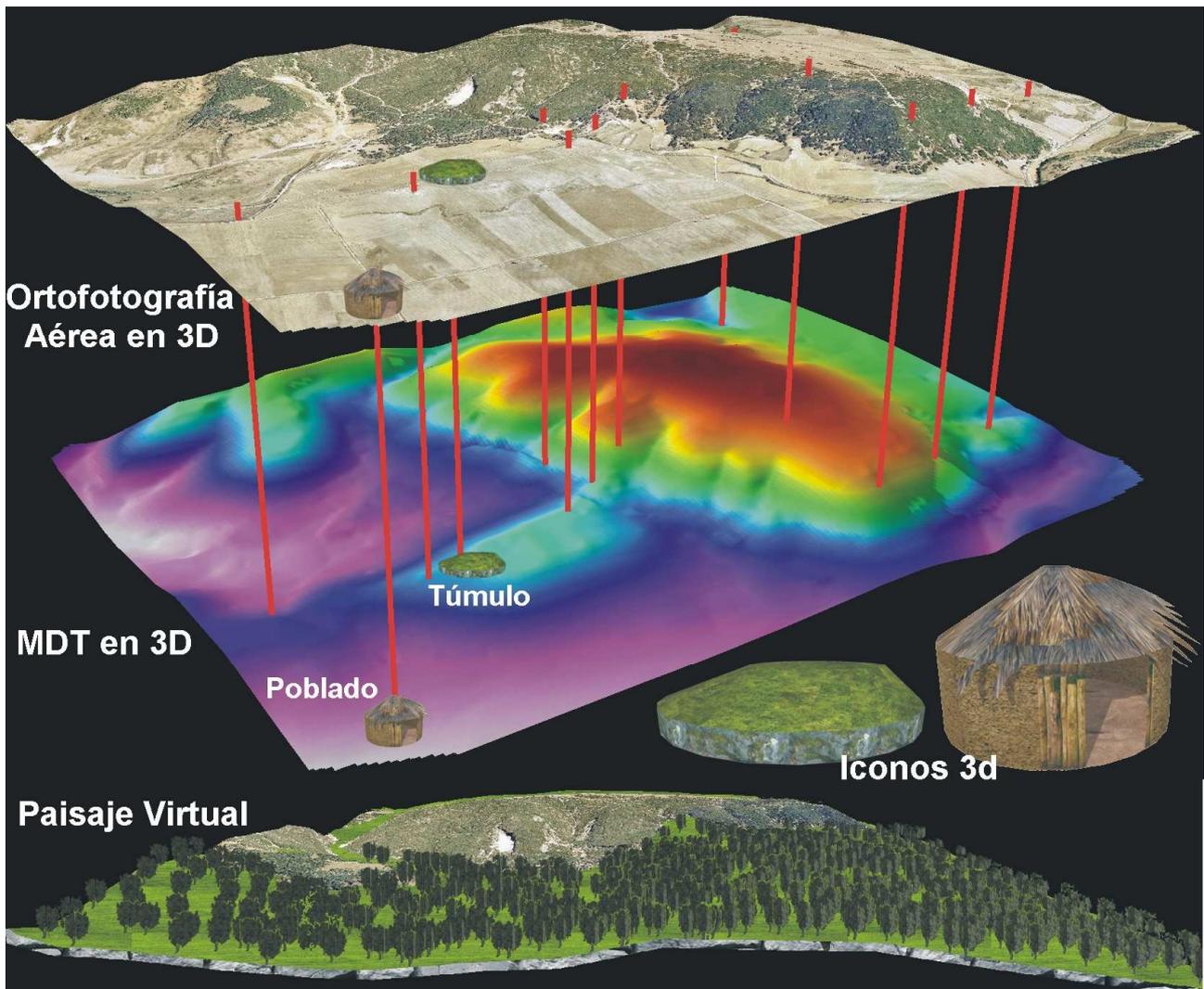


Figura 2. Proceso de modelización en 3D del Paisaje Virtual del Sur de la Sierra de Atapuerca.



Figura 3. Instantánea texturizada del Vuelo Virtual grabado en video. El Paisaje Virtual es una debesa vista desde el túmulo megalítico de Valicencia. Al fondo la Sierra de Atapuerca con la Trinchera del Ferrocarril.

## 5. Conclusiones

El estudio demuestra que es posible la divulgación de un Paisaje Virtual prehistórico donde la mayoría de los yacimientos son de prospección. El SIG ha sido muy relevante para la modelización en 3D del territorio mediante un Modelo Digital del Terreno, implementando un método sistemático y gradual para construir un Paisaje Virtual dinámico. El Vuelo Virtual grabado en video es la clave para la divulgación del territorio, facilitando al público una visualización con texturas fotográficas en 3D. La proyección de dioramas y maquetas virtuales con diferente ángulo y acimut posibilita la creación de ilustraciones como productos de divulgación. No obstante, el SIG carece de herramientas para realizar estructuras vectoriales complejas como los software de Diseño Gráfico en 3D, aunque éstas se pueden importar. La interoperatividad de softwares es esencial para modelar los yacimientos en 3D.

## Agradecimientos

Al Dr. Juan Carlos Díez Fernández-Lomana, Profesor Titular del Área de Prehistoria de la Universidad de Burgos, quien dirige en la actualidad mi Tesis Doctoral. A la Fundación del Patrimonio Histórico de Castilla y León por su financiación. El trabajo forma parte del Proyecto “El Pleistoceno y Holoceno de la Sierra de Atapuerca: Paleobiología y Paleoeconomía de las poblaciones humanas III” (DGICYT: CGL2006-13532-C03-03), dirigido por el Dr. José María Bermúdez de Castro Risueño, director del CENIEH, Burgos.

## Bibliografía

- ALLEN, K.; GREEN, S.; ZUBROW, E. eds. (1990): *Interpreting Space: GIS and Archaeology*. Ed. Taylor and Francis. London.
- BARCELÓ, J. A.; FORTE, M.; SANDERS, D. H. eds. (2000): *Virtual Reality in Archaeology. Computer applications and quantitative methods in Archaeology*. CA498. BAR, British International Series, 843. Oxford.
- BERMÚDEZ DE CASTRO, J. M.; ARSUAGA, J. L.; CARBONELL, E.; RODRÍGUEZ, J. eds. (1999): *Atapuerca nuestros antecesores*. Ed. Junta de Castilla y León. Valladolid.
- DÍEZ, J. C.; MORAL, S.; NAVAZO, M. (2003): *La Sierra de Atapuerca. Un viaje a nuestros orígenes*. Ed. Fundación Atapuerca. Burgos.
- MARCOS, F. J. (2006): *La Sierra de Atapuerca y el Valle del Arlanzón. Patrones de Asentamiento prehistóricos*. Ed. Dosssoles. Burgos.
- MARCOS, F. J. (2008): “Nuevos avances con SIG y Análisis Geoespacial en la Prehistoria Reciente de la Sierra de Atapuerca, Burgos: Densidad del poblamiento y Megalitismo”, en *Férvedes*, nº 5, pp. 217-226.

MARCOS, F. J.; DÍEZ, J. C. (2009, e.p.): “Propuesta y síntesis metodológica de Arqueología del Paisaje. Un diseño para la Prehistoria Reciente de la Meseta Norte”, en Zephyrus LXI.

NAVAZO, M. (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.

NICOLUCCI, F. ed. (2002): *Virtual Archaeology. Proceedings of the VAST Euroconference, Arezzo 24-25, November 2000*. BAR, British International Series, 1075. Oxford.

WHEATLEY, D. W.; GILLINGS, M. (2002): *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Application of GIS*. Ed. Taylor & Francis. London.