

LOS SIG Y EL ANÁLISIS ESPACIAL EN ARQUEOLOGÍA. APLICACIONES EN LA PREHISTORIA RECIENTE DEL SUR DE ESPAÑA

Leonardo García Sanjuán* David W. Wheatley** Patricia Murrieta Flores** Joaquín Márquez Pérez*

INTRODUCCIÓN

En la disciplina arqueológica, los Sistemas de Información Geográfica han sido utilizados principalmente como plataformas para la integración de información espacial. Sin embargo, su máximo potencial radica en la combinación de diversas herramientas y técnicas tanto de registro como de análisis espacial, cuya aplicación abarca desde la documentación del patrimonio para su puesta en valor y el análisis de distribuciones simples y los contextos espaciales arqueológicos, hasta la resolución de preguntas complejas en temas de investigación.

En el presente trabajo, se discuten diversos casos arqueológicos relacionados con la Prehistoria Reciente del Sur de España, en cuyo estudio la utilización de un SIG ha sido un fundamento metodológico principal. Todos los ejemplos presentados proceden de investigaciones realizadas conjuntamente por las universidades de Sevilla y Southampton (Reino Unido) durante el periodo 2001-2007 y de la mayoría de los cuales ya se han realizado publicaciones previas. La finalidad es ilustrar la experiencia que se ha obtenido con el uso de esta herramienta en el estudio de la evidencia arqueológica a diferentes escalas (micro y macro). En este sentido, el primer apartado consta del estudio de distintos casos a nivel micro, en los que se llevaron a cabo micro-topografías, representación cartográfica de alta resolución y distribución superficial de artefactos (análisis de densidad) con diferentes fines arqueológicos. El objetivo del segundo apartado es exponer en cuatro casos arqueológicos distintos de utilización de SIG para tratamiento de problemas a nivel macro: áreas de captación de recursos, patrones de visibilidad y orientación visual, así como rutas óptimas.

ESCALA MICRO. REGISTRO EN SUPERFICIE Y ANÁLISIS DE DENSIDAD

Hay al menos tres ámbitos del tratamiento del registro arqueológico de superficie en los que los SIG han supuesto una importante aportación metodológica: 1) la cartografía de la evidencia arqueológica y su georeferenciación precisa, 2) la combinación de datos obtenidos mediante procedimientos de observación distintos (por ejemplo datos micro-topográficos, de prospección sistemática y de prospección geofísica) y 3) el análisis de densidad superficial de distribuciones de artefactos.

El registro en superficie de los datos arqueológicos exige la resolución de una serie de problemas que van desde la misma observación de campo (visibilidad en superficie, definición de límites, densidad de las evidencias materiales, etc.) hasta la definición de la topología más acorde con la naturaleza intrínseca del registro arqueológico. La aplicación de los SIG en Arqueología ha supuesto una importante racionalización y sistematización de los criterios de representación espacial del registro arqueológico, tanto en términos de *yacimientos* como de aquellas otras expresiones que puedan ser consideradas *eventos* de naturaleza o interés arqueológico. La necesidad de encontrar un equilibrio entre los costes del trabajo de campo (tamaño del equipo humano y tiempo invertido en la exploración superficial) y la calidad del registro obtenido (precisión, manejabilidad) ha conducido en años recientes a la aplicación del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Gracias a su integración con los SIG, su accesibilidad económica, su precisión y su carácter portátil, esta tecnología se ha convertido en la idónea para el control y registro de la investigación arqueológica de campo, sobre todo de aquella que se

*.- Universidad de Sevilla.

**.- University of Southampton.

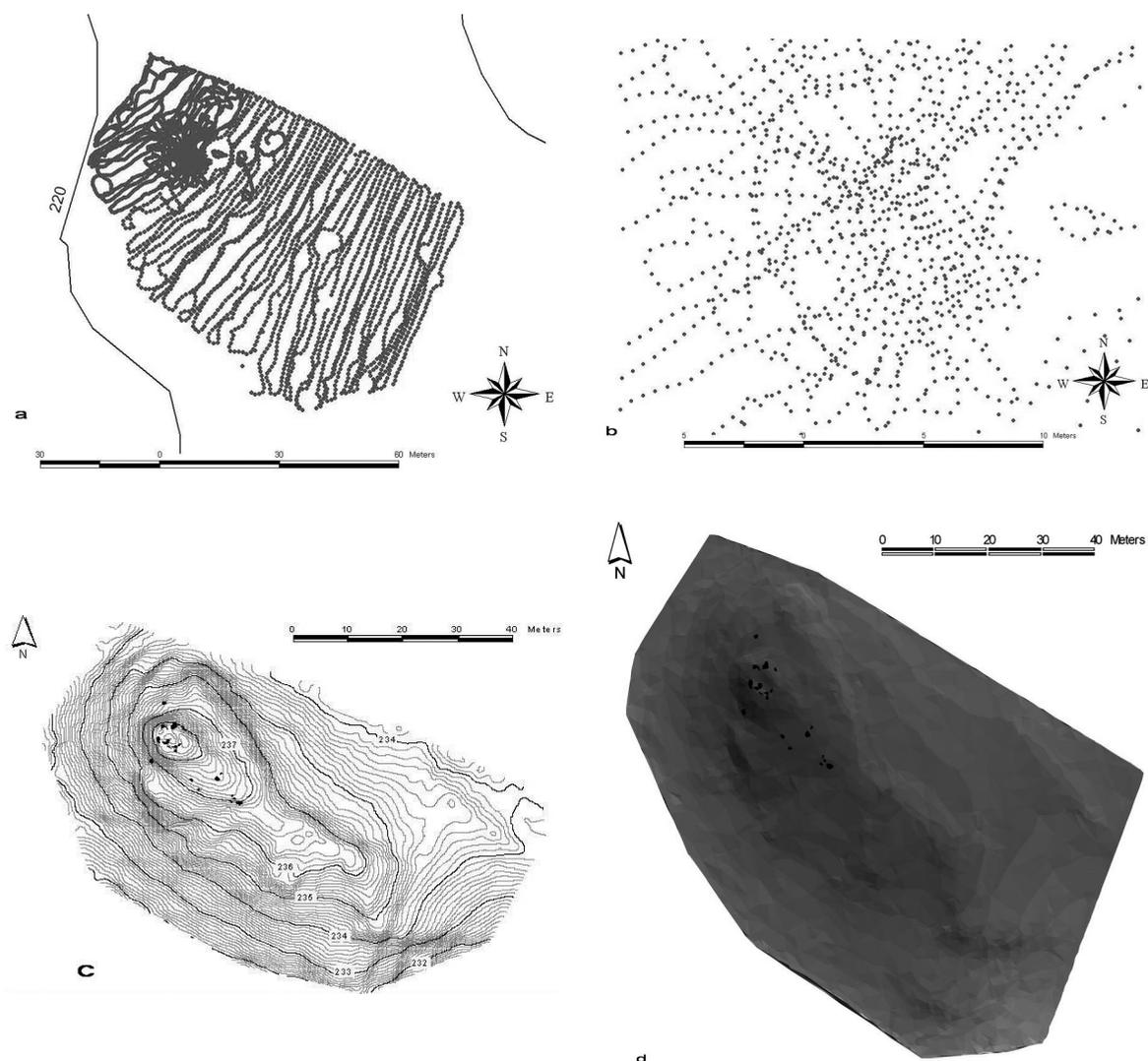


Figura 1. Levantamiento micro-topográfico del complejo funerario de Palacio III (Almadén de la Plata, Sevilla). a) Malla general de los puntos capturados mediante DGPS; b) Detalle de los puntos capturados en la zona central del complejo; c) Mapa de curvas de nivel de alta precisión; d) Modelo Digital del Terreno del sitio arqueológico. Fuente: García Sanjuán 2004.

desarrolla en zonas rurales y forestales poco accesibles (Amado Reino 1997; Estrada 1997; Colosi *et alii.* 2001a; 2001b; Gabrielli 2001; Wheatley/Gillings 2002).

En un trabajo anterior valoramos la capacidad de los GPS de alta precisión para producir representaciones topográficas y planimétricas de gran precisión, con unos costos limitados en tiempo de ejecución y personal (García Sanjuán/Wheatley 2003). Un ejemplo de ello es el levantamiento micro-topográfico llevado a cabo en el sitio de Palacio III, un complejo funerario prehistórico situado en el municipio de Almadén de la Plata (Sevilla) y que se puede apreciar en la figura 1. Esta cartografía a escala micro fue realizada con un equipo GPS diferencial de alta resolución modelo Leica SR530 configurado para reconocimiento RTK (*Real Time Kinematics*) provisto de dos receptores conectados vía radiomodem. La prospección superficial DGPS realizada en este yacimiento antes del comienzo de la

excavación requirió una hora y 45 minutos de trabajo, obteniéndose 4397 puntos en un área de 4605 m², lo cual supone una media de 0.95 cotas/ m² para un área de poco más de 7 metros de desnivel (altitud máxima sobre el nivel del mar 238,9 metros, altitud mínima 231,6). A partir de esta información se realizó una interpolación de las cotas al objeto de obtener un mapa de curvas de nivel del yacimiento. Este mapa, con curvas de nivel separadas por 10 centímetros de altitud, fue luego utilizado para crear un modelo digital de elevación de alta resolución del complejo funerario. En conjunto, el producto cartográfico resultante es muy superior en calidad, precisión y versatilidad (por la posibilidad de tratarlo con otros tipos de información) al levantamiento topográfico realizado de este mismo yacimiento en 1996 con medios convencionales. Como se ha señalado antes, otro ámbito en el que el empleo combinado de los DGPS y los SIG representa

un importante salto cualitativo en el registro superficial de la evidencia arqueológica es la combinación de datos obtenidos mediante procedimientos de observación distintos. Un ejemplo de ello es el estudio realizado en 2004 en el Dolmen del Llano de la Belleza (Aroche, Huelva), un importante monumento megalítico de Sierra Morena occidental que ya había sido descrito en distintas publicaciones previas, pero de cuya organización espacial y arquitectura, sin embargo, se habían soslayado ciertos detalles importantes (García Sanjuán *et alii* 2006a). El trabajo de campo realizado incluyó un levantamiento micro-topográfico de alta precisión (que posibilitó una valoración exacta del tamaño y estado de conservación del túmulo de este monumento), el registro de todos los bloques paramentales visibles en superficie, y una prospección magnetométrica (Fig. 2). En este caso, la valoración combinada de la micro-topografía, la prospección magnetométrica (que reveló anomalías en el perímetro de la estructura tumular) y de los elementos constructivos identificados en la cámara (bloques de menhires) permitió una valoración hipotética nueva de este monumento, a partir de una serie de observaciones realizadas de forma completamente no-destruccionista y con un costo muy limitado de ejecución *in situ*.

Otra forma de aplicación de los SIG para mejorar la calidad del registro topográfico de sitios arqueológicos es la recuperación de cartografías y planimetrías antiguas, realizadas antes de la introducción de la informática en la Arqueología. Ya se ha visto antes cómo la captura directa de datos sobre el terreno mediante DGPS y SIG constituye una alternativa válida para mejorar la planimetría de aquellos yacimientos para los que en cualquier caso existan topografías antiguas de menor calidad. Otro tipo de situación puede darse cuando la cartografía antigua es de calidad y se juzga importante transferirla a formato digital para su gestión SIG. Un ejemplo de este tipo de procesamiento es el trabajo realizado con el asentamiento de la Edad del Bronce de El Trastejón (Zufre, Huelva). De este yacimiento se disponía de un levantamiento topográfico en papel realizado manualmente en 1988, a escala 1:2000. Recientemente se procedió, primero, a la rasterización de la planimetría y después a su vectorización, obteniéndose una planimetría con curvas de nivel a intervalos de 1 metro de altitud (cota máxima de 427 y mínima de 340) (Fig. 3). Aunque ello representa una precisión 10 veces inferior a la obtenida en el Dolmen de Palacio III, hay que tener en cuenta que el tamaño del área cubierta por la topografía es de 218.237 m² (21,8 hectáreas), esto es, casi 50 veces más grande. Este tratamiento de la cartografía antigua ha permitido disponer del Modelo Digital del Terreno del asentamiento prehistórico, así como de la base topográfica de referencia para la ubicación de los cortes de excavación, principales elementos paramentales, distribuciones artefactuales, etc.

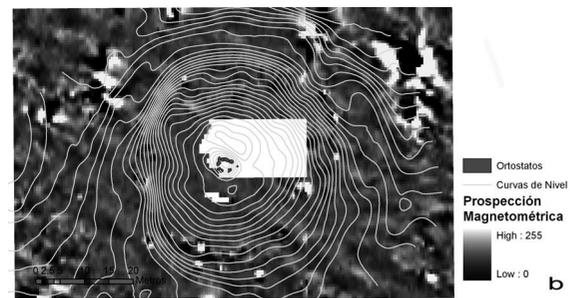
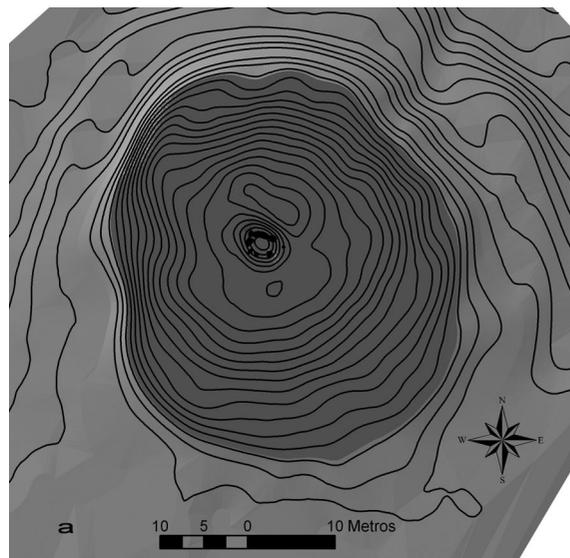


Figura 2. Levantamiento micro-topográfico y prospección geofísica del dolmen del Llano de la Belleza (Aroche, Huelva). a) Curvas de nivel a partir de levantamiento topográfico por DGPS; b) Prospección magnetométrica y elementos constructivos. Fuente: García Sanjuán *et alii* 2006a.

Una tercera vía principal de aplicación de los SIG al tratamiento del registro arqueológico de superficie a escala micro es el análisis de densidades de artefactos. A continuación se discuten dos ejemplos de este tipo de aplicación, ambos basados en el registro superficial de dispersiones de artefactos mediante DGPS y la posterior valoración de sus patrones de densidad mediante SIG.

El primer ejemplo es el estudio realizado en septiembre de 2005 en el lugar de hallazgo de dos estelas de guerrero en Almadén de la Plata (Sevilla) (García Sanjuán *et alii* 2006b). A partir de una serie de criterios explícitamente formulados, se delimitó un polígono de prospección de 9,09 hectáreas dentro del cual se llevó a cabo un levantamiento micro-topográfico, acompañado de una prospección geofísica (magnetométrica), y una prospección intensiva mediante frente de prospectores al objeto de documentar de una forma precisa la dispersión de artefactos en superficie. El levantamiento topográfico permitió constatar que el majano (amontonamiento de piedras realizado por los agricultores para despejar un

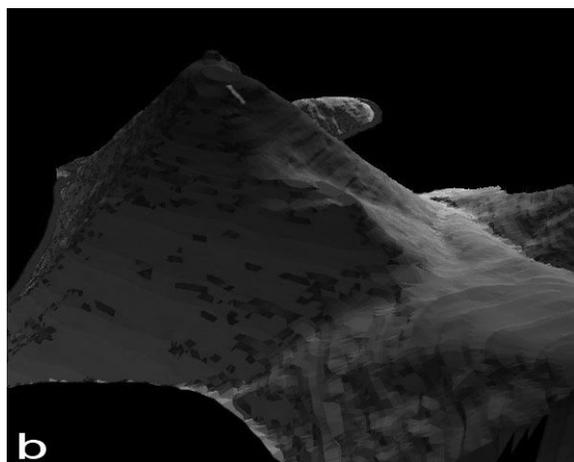
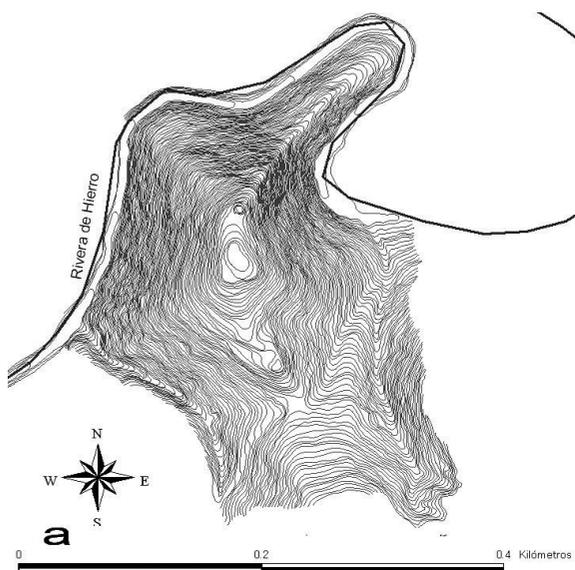


Figura 3. Levantamiento micro-topográfico del asentamiento de la Edad del Bronce de El Trastejón (Zufre, Huelva). a) Curvas de nivel a partir de levantamiento topográfico manual; b) Modelo Digital del Terreno. Fuente: García Sanjuán 2004.

área de cultivo) sobre el que se encontraron las estelas se situaba sobre una elevación a la misma altura que otra elevación ubicada 400 metros al Oeste. La prospección magnetométrica no registro ningún tipo de anomalía en el terreno.

La prospección de superficie intensiva se ejecutó a lo largo de líneas-transectos separadas por intervalos de 5 metros, siendo todos los hallazgos controlados y geo-referenciados mediante DGPS (Fig. 4). De esta prospección se registraron 47 artefactos (incluyendo restos de talla y utensilios líticos, materiales de construcción modernos, así como escasa cerámica a mano y a torno, tanto prehistórica como moderna) que no mostraron pautas específicas de concentración alguna y cuyas características no permitieron la

caracterización del lugar como espacio de asentamiento prehistórico. En este sentido, se concluyó que las estelas no podían ser contextualizadas como parte de un poblado o hábitat. Por otra parte, alrededor del majano se registraron y geo-referenciaron gran cantidad de cantos de cuarzo blanco que en el resto del polígono de prospección estaban ausentes. Mediante el SIG se realizó un análisis de densidad superficial de materiales que mostró su concentración específicamente alta en los sectores Sureste y Suroeste del majano, precisamente allí donde las estelas habían sido encontradas, disminuyendo de forma gradual conforme aumentaba la distancia y mostrando por tanto un patrón de dispersión centrífugo con origen en el majano. Ello sugiere que el sitio había sido previamente monumentalizado mediante un túmulo o construcción de la que formaban parte los guijarros de cuarzo.

La valoración de estos datos en el contexto de una reciente investigación sobre la presencia de materiales de cuarzo en sitios megalíticos del Sur de la península Ibérica (Forteza González *et alii* 2008), así como el estudio llevado a cabo del complejo funerario de Palacio III, situado unos 2,5 km al Norte del lugar de hallazgo de estas estelas, ha permitido establecer una serie de observaciones empíricas conducentes a una interpretación concreta del posible contexto espacial y funcional de estas estelas. En la siguiente sección de este trabajo, al comentar la utilización de los SIG para el análisis de patrones de movilidad, se vuelve de nuevo a este caso concreto, aunque desde una perspectiva macro. La relación espacial de las estelas con otros elementos paisajísticos de la región sugiere diversas cuestiones de interés que han sido también exploradas mediante los SIG, como es el caso de la función de los monumentos megalíticos como marcadores territoriales, sus pautas de visibilidad y movimiento, etc. De hecho, en el caso de las estelas de guerrero de Almadén de la Plata, la utilización de los SIG para el análisis contextual tanto a escala micro como macro ha sido crucial para poder avanzar en una interpretación hipotética de su contexto (uno de los aspectos peor conocidos y más controvertidos de estos monumentos prehistóricos).

Un segundo ejemplo de utilización de SIG para análisis de densidades superficiales de artefactos es el estudio de campo llevado a cabo en Abril de 2006 en el sitio arqueológico de Peñas Blancas I, situado junto a La Peña de los Enamorados (Antequera, Málaga). Este estudio forma parte de una investigación más amplia del marco territorial de la necrópolis megalítica de Antequera, que incluye algunos de los mayores monumentos prehistóricos conocidos en la Península Ibérica. Uno de los estudios de campo realizados consistió en unas prospecciones de superficie intensiva de La Peña de los Enamorados, especialmente en el sitio de Piedras Blancas I, ubicado al pie del farallón

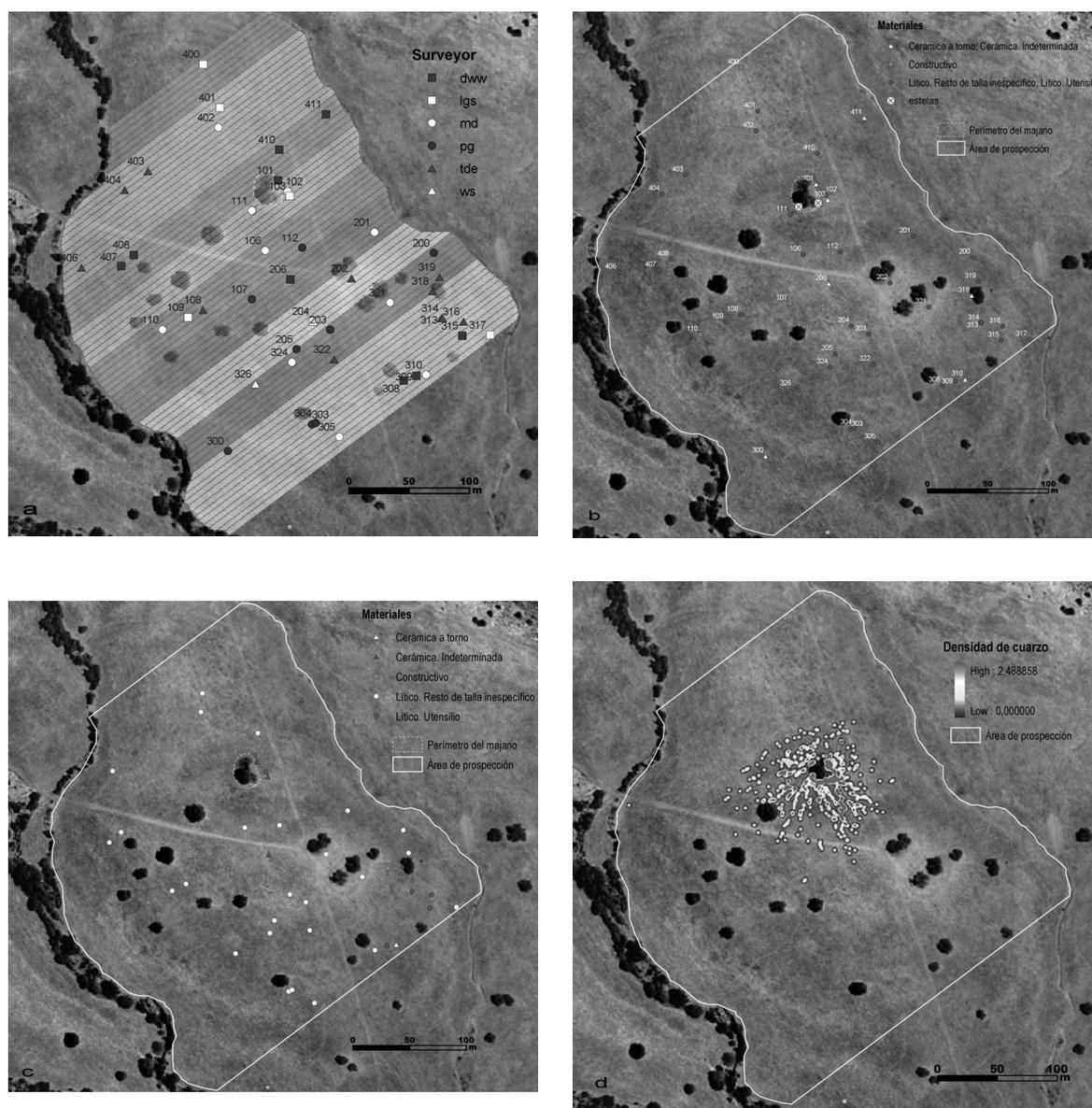


Figura 4. Prospección de superficie intensiva y análisis de densidad de artefactos en el sitio de hallazgo de las estelas de guerrero de Almadrén de la Plata (Sevilla). a) Movimientos de prospección y hallazgos por prospector; b) Hallazgos por categoría general; c) Hallazgos por categoría específica; d) Densidad de cantos de cuarzo en torno al lugar de hallazgo de las estelas. Fuente: García Sanjuán *et alii* 2006b.

Norte de La Peña (Fig. 5 y 6). A partir del registro sistemático de las evidencias superficiales en una serie de cuadrículas de control, en este lugar se identificó una dispersión de material lítico caracterizado fundamentalmente por restos de talla, láminas y geométricos que desde un punto de vista tecnomorfológico pueden ser valorados como propios del Neolítico y que espacialmente mostraba un claro patrón de concentración en torno a un bloque monolítico de material calizo local de forma aproximadamente paralelepípedica y 3 m. de diámetro máximo que resulta análogo por su morfología y

geología a los bloques interpretados como menhires en el Norte de España.

La elaboración de la cartografía de alta resolución mediante el empleo combinado de DGPS y SIG, así como la posterior constatación del patrón de densidad superficial de los restos líticos de superficie fue crucial para tornar la atención del equipo investigador hacia este sitio concreto y para posteriormente hacer una valoración del mismo desde una perspectiva territorial-paisajística, en conexión con otras localizaciones arqueológicas de La Peña de los Enamorados y del Dolmen de Menga, una de las principales construcciones

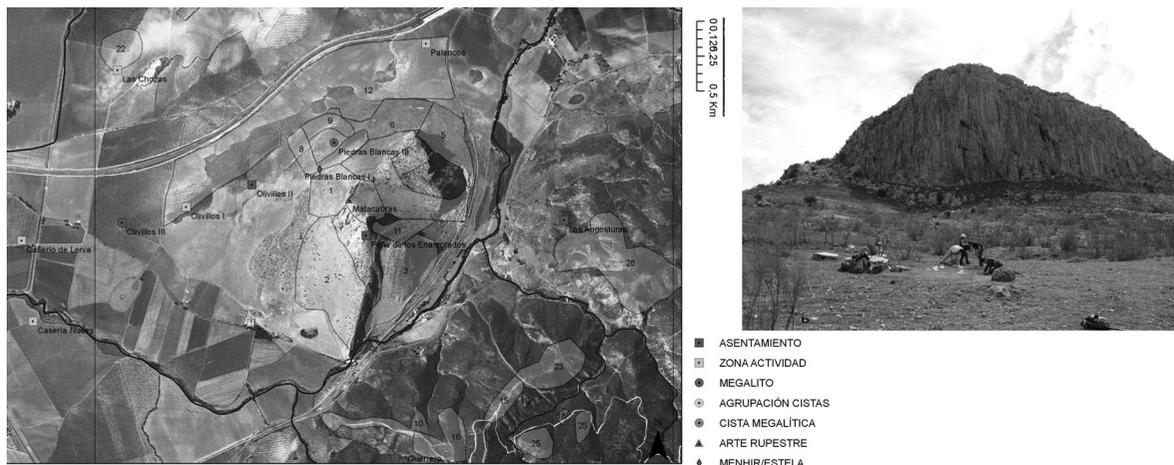


Figura 5. Prospección de superficie intensiva y análisis de densidad de artefactos en el sitio de Piedras Blancas I, en La Peña de los Enamorados (Antequera, Málaga). a) Mapa de movimientos de prospección realizados en la zona en la campaña de abril de 2006; b) Imagen del sitio de Piedras Blancas I con el farallón Norte de La Peña de los Enamorados al fondo. Fuente: García Sanjuán/Wheatley 2008.

megalíticas de la necrópolis antequerana. Los detalles de esta valoración espacial a nivel macro del sitio prospectado en el marco de una interrelación de las actividades de reproducción ideológica de las sociedades del Neolítico y Calcolítico de la región son abordados en la siguiente sección, al abordar la cuestión del análisis de los patrones de visibilidad.

NIVEL MACRO. ANÁLISIS DE CAPTACIÓN DE RECURSOS, PAUTAS DE VISIBILIDAD Y VÍAS DE PASO

Más allá del registro y evaluación de los datos arqueológicos de superficie, las utilidades de síntesis y análisis de datos cartográficos y espaciales de los SIG nos han permitido abordar en años recientes problemas y enfoques de investigación a escala macro (relaciones entre asentamientos y otras localizaciones de interés arqueológico, y entre estas y los elementos constitutivos del medio físico) de una manera que hace un decenio era, bien excesivamente lenta y costosa, o bien simplemente inasumible por las dificultades técnicas, las limitaciones de los datos, etc. En esta sección se van a describir tres procedimientos de tratamiento de otros tantos problemas (captación de recursos, visibilidad y movimiento) en cuya investigación el concurso de los SIG es central, utilizando para ilustrar dicha descripción ejemplos tomados de la Prehistoria Reciente del Sur de la península Ibérica.

CAPTACIÓN DE RECURSOS

Como testimonia la amplia literatura que fijó sus principios y limitaciones ya desde los años 1970 y

1980, el Análisis de Captación de Recursos (ACR) ha constituido uno de los procedimientos más consolidados en el análisis espacial arqueológico (Vita-Finzi/Higgs 1970; Higgs/Vita-Finzi 1972; Jarman *et alii* 1972; Roper 1979; Findlow/Ericson 1980; Davidson/Bailey 1984; Vicent 1991; etc.). Como es sabido, el ACR tiene como base epistemológica la teoría de abastecimiento óptimo (*optimal foraging theory*), según la cual, mientras mayor sea la distancia de los recursos con respecto a una localización, mayor será el costo económico de su explotación, llegando eventualmente el punto en el que este costo se vuelva inaceptable, por lo que se puede establecer una frontera económica que define el área (o territorio) óptima de explotación de cada recurso desde cada sitio considerado. En un sentido más concreto, el ACR en arqueología constituye una técnica en la que se analiza la ubicación de los asentamientos con respecto a los recursos económicos potenciales que se encuentran a su disposición (tierra cultivable, pastos, agua, minerales, etc.) (García Sanjuán 2005, 203-209).

Aunque por partir de un presupuesto estrictamente economicista (según el cual las sociedades prehistóricas habrían tomado decisiones de significativa importancia social y económica en base a criterios de optimización del trabajo y economización de la energía) se han formulado críticas contra la base epistemológica del ACR (véase un comentario en Wheatley/Gillings 2002, 159), lo cierto es que este procedimiento de estudio ha sido con frecuencia empleado en el análisis de las estrategias de ocupación del territorio y de producción económica de las sociedades prehistóricas –ver Gilman/Thornes 1985; Vicent 1991 para ejemplos tomados de la Prehistoria Reciente del Sur de España. Además, el análisis de la accesibilidad relativa de los

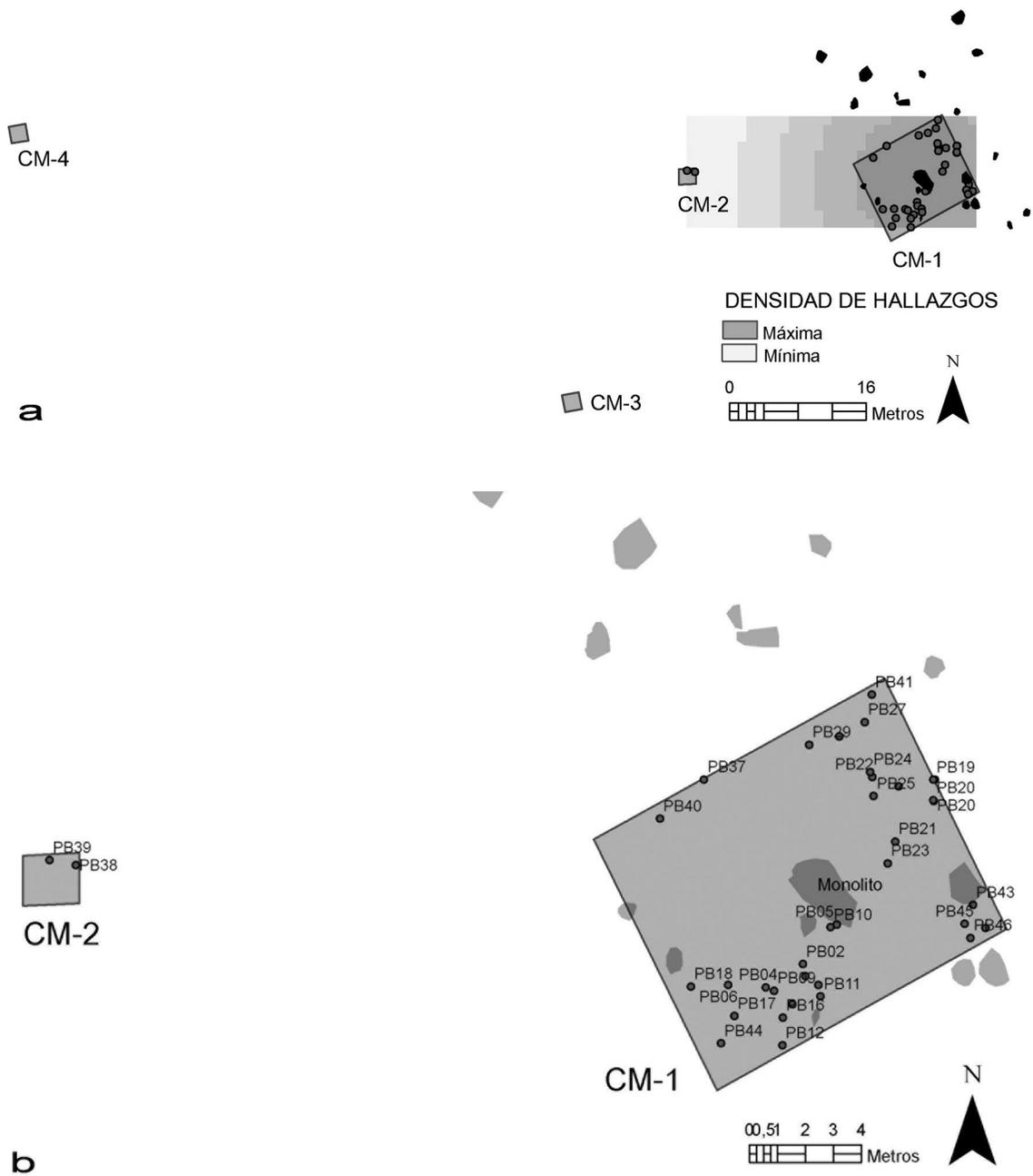


Figura 6. Prospección de superficie intensiva y análisis de densidad de artefactos en el sitio de Piedras Blancas I, en La Peña de los Enamorados (Antequera, Málaga). a) Plano de localización del monolito y bloques de piedra adyacentes, cuadrículas de muestreo (CM 1-4), hallazgos (PB 1-59), y densidad micro-espacial resultante; b) Detalle de la distribución de los hallazgos (identificados mediante sigla). Fuente: García Sanjuán/Wheatley 2008.

diferentes recursos y localización en torno a los asentamientos prehistóricos presenta en todo caso un evidente interés intrínseco (en el ámbito del registro empírico arqueológico) que precede a (y es independiente de) la interpretación de los patrones de conducta económica que de él puedan derivarse.

Los SIG han añadido una considerable sofisticación metodológica al ACR, posibilitando el estudio de la accesibilidad de los recursos ya no solo en términos de

la distancia sino también del tiempo, gasto energético o capacidad de carga de un territorio. La distancia, puede ser modelada mediante regiones geométricas como lo son los polígonos de Thiessen (dependientes de la distribución espacial de los datos, es decir, generando áreas de influencia para cada uno) o los *buffers* (independientes de esta distribución espacial), mientras que el tiempo, gasto energético y capacidad de carga pueden ser modelados utilizando regiones

topográficas derivadas de superficies de costo generadas a partir de algoritmos o fórmulas calculadas mediante SIG.

En nuestra investigación, el ACR de base SIG ha servido para investigar las estrategias de asentamiento y producción económica de un conjunto de comunidades de la Edad del Bronce de Sierra Morena occidental a partir del cálculo de líneas isócronas, que son líneas que indican un mismo valor de tiempo en ser alcanzadas a partir de un punto, línea o polígono de partida. Específicamente, una revisión reciente (García Sanjuán *et alii* en prensa), en la que se han tomado como referencia para el ACR líneas isócronas de 45' y 90' calculadas a partir de un análisis de pendientes derivado de un Modelo Digital del Terreno (MDT), ha servido para matizar y enriquecer las conclusiones obtenidas en un estudio previo, donde se había aplicado una metodología comparativamente más sencilla basada en la definición del área de referencia mediante un círculo de 1500 m de radio fijo alrededor de los asentamientos (García Sanjuán 1999, 121-123). Una aportación trascendental de los SIG en el ACR es la posibilidad derivar mapas de isócronas a partir de un MDT de una forma rápida y efectiva. Para generar un mapa de líneas o áreas isócronas en este estudio se ha tomado la pendiente como la variable determinante para establecer la impedancia. En este sentido, se considera que una acentuación de la pendiente produce un aumento en el tiempo que se tarda en recorrer determinada longitud. El problema es determinar el tiempo que se tarda en recorrer una misma distancia a medida que aumenta la pendiente. Con la finalidad de calcular esto, se tomó como promedio una velocidad media a pie y en terreno llano de 6 km/h considerando además que cualquier ruta tendería, por su dificultad, a evitar pendientes mayores a 45 grados, estableciéndose con estos parámetros una relación entre el tiempo empleado en recorrer una distancia determinada y su pendiente¹. Una vez obtenida esta relación, se calculó una fórmula que asocia valores proporcionales de tiempo a los diferentes valores de pendiente. A partir del MDT se deriva una capa de pendientes y con la fórmula anterior, se genera otra capa que recoge el tiempo que tarda en ser atravesada cada celdilla (1 m). Para la obtención del

mapa final de áreas isócronas, se generó primero una superficie de costo mínimo acumulado en torno a cada asentamiento que sintetizó el tiempo que se tarda en llegar desde ella a la de referencia por la ruta óptima y posteriormente, se generaron las isóneas que indican dentro del modelo de costo mínimo acumulado, el trazado de las isócronas de 45 y 90 minutos respectivamente². Para la generación de la superficie de costo mínimo acumulado en función de la pendiente, se consideró la pendiente, aunque no de modo lineal sino exponencial: esto significa que el tiempo que se tarda en recorrer una celdilla con una pendiente determinada no es exactamente proporcional a esa pendiente, y que en función del tipo de pendiente se tardaría más o menos³.

En el caso de los asentamientos estudiados, de los cuales aquí se presenta el de El Trastejón (Zufre, Huelva) (Fig. 7), un poblado fechado por radiocarbono entre finales del III milenio y comienzos del I milenio cal ANE, la determinación de estas áreas de captación dio diversos resultados de interés. Por una parte, se realizó una comparación entre las áreas isócronas y los círculos de 1,5 km de radio fijo empleados en el análisis anterior, dando como resultado que la superficie englobada en las áreas isócronas de 45' en todos los asentamientos, es bastante menor a la representada por el círculo de 1,5 km de radio. Desde un punto de vista metodológico, ello implica que el criterio adoptado en el primer estudio no proporcionaba una aproximación adecuada al área teórica de captación en base a la accesibilidad en cuanto a una aproximación de detalle con base en la cartografía topográfica de alta precisión. En este sentido, la correlación entre los círculos de radio fijo y las de accesibilidad real (según expresan las áreas isócronas) es limitada.

En cuanto a la determinación de la estrategia de elección del asentamiento, el análisis de tres variables como la pendiente, la litología y el uso de suelo contemporáneo fue fundamental. Respecto a la pendiente se comprobó que los cuatro asentamientos cuentan dentro de sus áreas isócronas con una proporción muy elevada de terrenos con pendientes superiores al 12%. En cuanto a la litología, se identificó que la composición del suelo perteneciente a los asentamientos es predominantemente de rocas

1.- En realidad, estudios de fisonomía humana han demostrado que la velocidad promedio de un ser humano de entre 20 y 60 años es de 4.4 km/h para mujeres y 4,9 km/h para hombres caminando en un terreno con una pendiente de 0 a 10 grados de inclinación (Perry 1992, 453). Sin embargo, esto puede variar dependiendo de la condición física o si se lleva alguna carga y también es proporcional a la dirección de movimiento, es decir, si este se realiza en favor o en contra de la pendiente. Estos rangos en realidad son usados para fijar un límite en los modelos posibles y pueden ser utilizados como medidas óptimas en el movimiento humano.

2.- Se debe tomar en cuenta que el modelo generado para este estudio es isotrópico, es decir que no se ha tomado en cuenta la dirección del movimiento en cuanto a la pendiente.

3.- Por ejemplo, podemos tardar 30 sg en recorrer 30 m con una pendiente de 1 grado, 40 sg si la pendiente es de 5 grados... pero ante una pendiente de 15 grados el tiempo no sería 50 sg sino mayor. De ahí que en la curva exponencial que relaciona ambas variables el tiempo tienda a infinito cuando el valor de la pendiente todavía no lo hace, y por ello se decidió que la máxima pendiente atravesable sería de 45 grados.

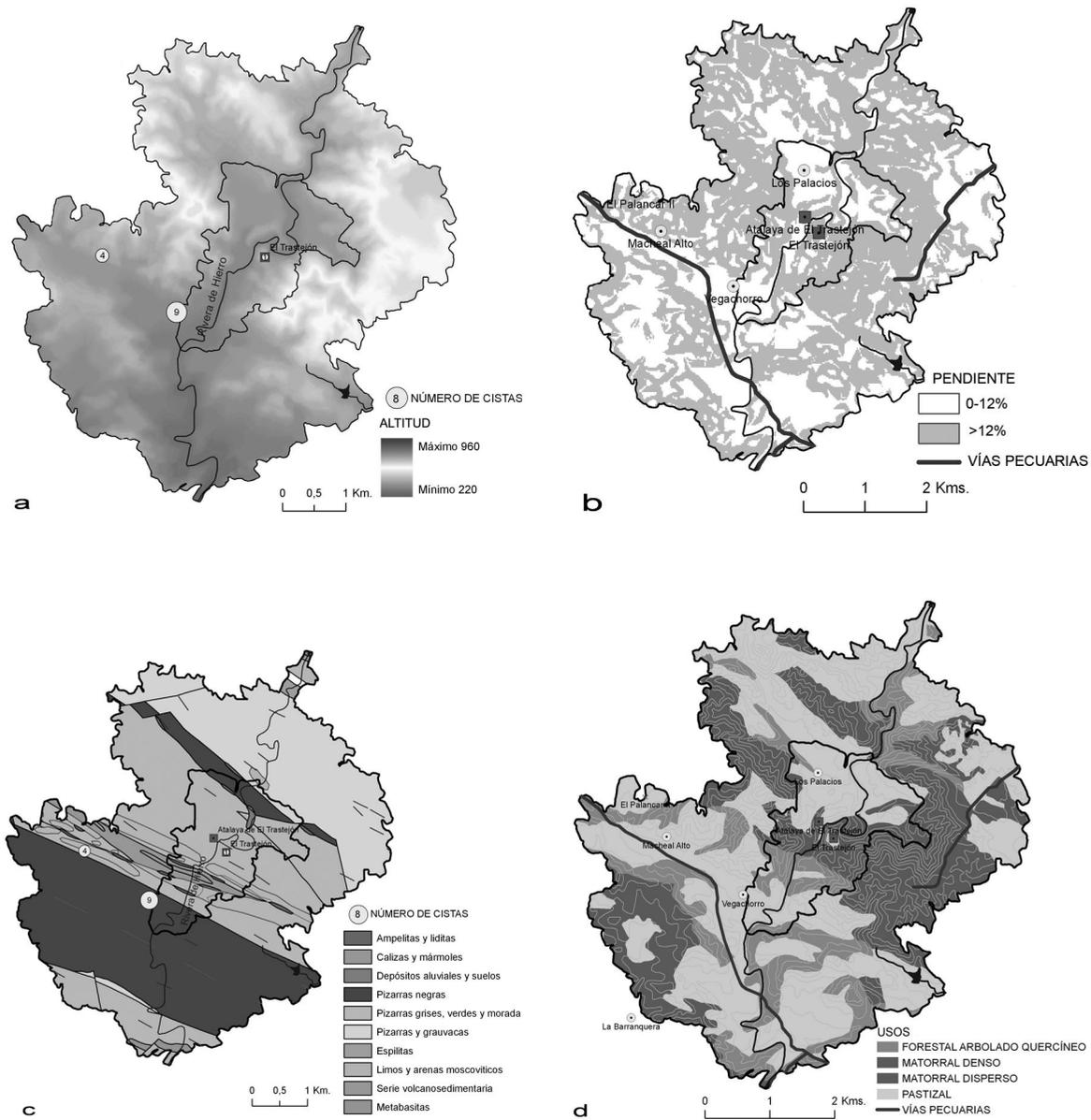


Figura 7. Análisis de Captación de Recursos del asentamiento de la Edad del Bronce de El Trastejón (Zufre, Huelva). a) Altimetría; b) Pendiente; c) Litología; d) Uso actual del suelo. Fuente: García Sanjuán *et alii* en prensa.

metamórficas pizarrosas cuya característica es la formación de suelos ácidos, poco desarrollados e improductivos desde el punto de vista agrario. Por otra parte, el patrón de uso contemporáneo del suelo mostró la predominancia de suelos de uso forestal. En este sentido, se llegó a la conclusión de que si bien por una parte el marco territorial del asentamiento de El Trastejón contaba con una muy baja capacidad de intensificación de la producción subsistencial agraria, por otra, la elección del lugar de asentamientos no se dió en base a una limitación fisiográfica del terreno ya

que muy cerca, en el curso alto del río Rivera de Huelva, se cuenta con una gran proporción de terrenos con pendientes inferiores al 12%, lo que significaría contar con suelos cultivables. Dicha configuración es en realidad consecuencia de una estrategia de elección de los lugares de asentamiento que tiene como preferencia puntos elevados y dominantes. Otro aspecto significativo del ACR fue el estudio de la minería y metalurgia asociada a las áreas, en las que se identificaron algunas concentraciones significativas de cobre así como 4 minas asociadas a los asentamientos estudiados.

2004a; 2004b; Rajala 2004; Zamora 2006; 2008; etc.). La metodología ya convencionalmente aceptada señala que la visibilidad de un sitio puede ser analizada mediante la generación de cuencas visuales teóricas o potenciales que pueden ser definidas como el conjunto de todas las localizaciones en un territorio que son visibles desde otro punto de observación específico, dada una distancia máxima de visión y en base únicamente a la topografía. Para su análisis, el SIG emplea el modelo digital del terreno buscándose la definición de qué celdas son visibles desde la celda que constituye el punto de observación y dentro de un perímetro de visión máxima establecida, dando como resultado un nuevo mapa en el que se señala con valor de 0 o 1 la existencia o no de intervisibilidad. El método específico aplicado en esta investigación fue el análisis acumulativo de cuencas visuales (*cumulative viewshed* en su denominación inglesa) o Análisis de Cuencas Visuales Acumuladas (ACVA), como se le denominará en este trabajo. Según este procedimiento de análisis, una vez obtenidas las cuencas visuales individuales de cada sitio arqueológico se suman mediante álgebra de mapas, generando una nueva cobertura donde el valor de cada celda expresa el número de sitios desde la cual es visible. Los SIG permiten además especificar parámetros como la altura del observador y la extensión máxima de la visión. Existen diversos problemas y limitaciones teóricas y metodológicas que son inherentes al análisis de visibilidad en general que sin embargo, no mencionaremos aquí pero que ya han sido estudiados en trabajos anteriores a profundidad (ver discusión de carácter general en Wheatley/Gillings 2002).

El estudio de caso utilizado aquí como ejemplo se centra en el análisis de las pautas de visibilidad existentes en dos grupos de asentamientos prehistóricos y monumentos megalíticos de Sierra Morena occidental, ubicados en los municipios de Aracena (Huelva) y Almadén de la Plata (Sevilla) (García Sanjuán *et alii* 2006c). Este estudio se planteó con dos objetivos principales. El primero fue determinar si el paisaje visual conformado por las cuencas visuales individuales de tales asentamientos y monumentos estuvo culturalmente pautado, es decir, si existió por parte de estas comunidades del Neolítico y Edad del Cobre una estrategia consciente de creación de un paisaje visual. En segundo lugar, una vez establecida la primera premisa se intentó descifrar la forma y significado territorial, social e ideológico-simbólico que estos paisajes pudieron tener. En cuanto al primer objetivo se utilizó la prueba de significación no paramétrica de Mann-Whitney para contrastar si una diferencia entre las medias de dos muestras es estadísticamente significativa, es decir, si las muestras han sido extraídas de poblaciones diferentes (García Sanjuán *et alii* 2006c, 185).

En cuanto al grupo de Aracena, se presentaron tres factores que repercutieron de forma importante en los

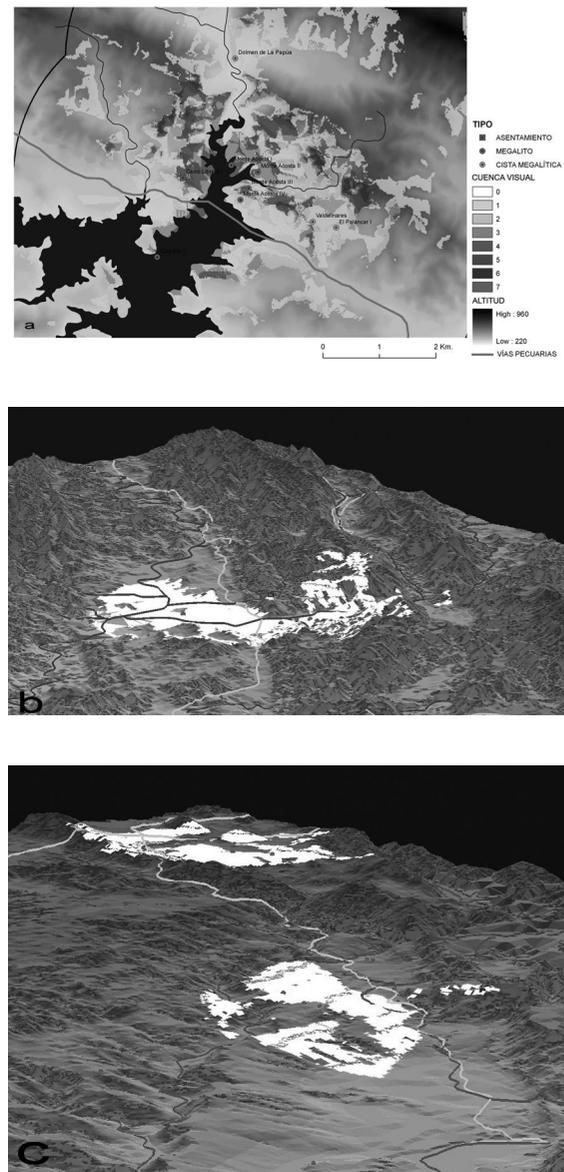


Figura 9. Análisis de Cuencas Visuales Acumuladas de dos conjuntos de monumentos megalíticos de Sierra Morena occidental. a) Grupo de Aracena (Huelva), resultado del ACVA; b) Grupo de Aracena (Huelva), resultado del ACVA mostrado sobre MDT; c) Grupo de Almadén de la Plata (Sevilla), resultado del ACVA mostrado sobre MDT. Fuente: García Sanjuán *et alii* 2006c.

resultados del análisis. El primero es el hecho de que algunos de los dólmenes están localizados en las inmediaciones del embalse de Aracena lo que supone una modificación importante de la topografía antigua y por lo tanto de la estimación de los patrones visuales prehistóricos. Por otra parte, algunos de los monumentos se ubican a una distancia mayor de 3 km con respecto al vecino más cercano, lo que supone que no existen relaciones de asociación visual, lo cual tiene gran influencia en el cálculo de la visibilidad acumulada.

Finalmente, diversos dólmenes se encuentran ubicados en los límites de la zona de estudio por lo que estos se vieron sujetos al llamado *efecto borde* el cual implica que se deje de considerar toda aquella superficie visible que cae fuera del área de estudio. Al momento de efectuar la prueba estadística, la hipótesis nula que planteaba que la distribución de los monumentos y sitios con respecto a las cuencas visuales se debía al azar no pudo ser rechazada debido a estos efectos distorsionadores. Esto no impidió observar algunos factores de valía con respecto a la configuración espacial de estos yacimientos; sin embargo, se tomaron estos datos con cautela y se consideraron como interpretaciones provisionales sujetas a futuras corroboraciones. En este sentido, se observó que el poblado de Cerro Libroero presenta la cuenca visual más amplia de las 35 localizaciones incluidas en el estudio, mostrando una prominencia visual con respecto a los monumentos vecinos y su entorno en general (Fig. 9a y 9b). Además de esto, el rango jerárquico del túmulo de Coquino parece corroborarse ya no solo por su gran tamaño sino también por su visibilidad.

Con respecto al grupo de Almadén de la Plata, la prueba estadística realizada permitió rechazar la hipótesis nula, significando esto la existencia de una pauta en la ubicación de los monumentos en función de su cuenca visual. De esta forma, uno de los monumentos con especial preeminencia en el mapa final de ACVA fue el complejo funerario de Palacio III, cuya posición jerárquica en el paisaje ha sido explicada mediante las excavaciones realizadas que señalan su utilización como lugar de culto durante un amplio arco temporal. A pesar de que no se observó con respecto a los monumentos un caso de predominio visual tan obvio como el de Cerro Libroero en Aracena, sí se constató el control visual que ejerce el asentamiento de Castillo de la Sarteneja, sobre una de las principales vías históricas de la zona llamada el Cordel del Pedroso (Fig. 9c). A partir de la observación de este fenómeno y de la experiencia empírica desarrollada en la zona, esta asociación visual entre vías y yacimientos prehistóricos nos llevó a plantear una investigación más profunda del fenómeno, que dio como resultado un estudio de movimiento que es el objeto del nuestro último apartado de este trabajo.

Un segundo caso interesante de aplicación de análisis de visibilidad a un caso arqueológico se ha llevado a cabo en relación con las relaciones visuales existentes entre los monumentos megalíticos de la depresión de Antequera (Málaga) y La Peña de los Enamorados, dentro del contexto general del proyecto de investigación de los marcos territoriales y paisajísticos de los grandes monumentos antequeranos ya citado antes (García Sanjuán/Wheatley 2009). Una vez que las prospecciones intensivas en el sitio de Piedras Blancas I (densidad de

artefactos líticos en superficie, así como asociación a un bloque monolítico de caliza y a un abrigo con arte rupestre ubicado al pie del farallón Norte de La Peña) permitieron establecer que el sector Norte de La Peña de los Enamorados pudo tener una intensa significación en las actividades de reproducción ideológica de las sociedades neolíticas y calcolíticas de la zona, se planteó el tema de la anómala orientación axial (y por extensión, astronómica) del Dolmen de Menga.

Esta magna construcción megalítica reúne, entre otras peculiaridades, la característica de estar orientada al Norte del solsticio de verano, lo que contradice la pauta general de los megalitos del Sur de la Península Ibérica, mayoritariamente orientados al orto solar (Hoskin 2001). Esta atípica orientación siempre había sido explicada como resultado de la prominencia topográfica y visual de la misma Peña de los Enamorados. El estudio mediante SIG de los campos visuales y del eje axial de la cámara de Menga (a partir de una reconstrucción micro-topográfica y planimétrica de alta resolución de su arquitectura mediante escáner láser) permitió establecer que el campo visual *máximo* desde el interior de la cámara de Menga abarca exactamente la totalidad del desarrollo geográfico del macizo de La Peña de los Enamorados, que tiene una longitud de aproximadamente 1700 metros en su dirección general Noreste-Suroeste (Fig. 10). Aunque las porciones de esta formación montañosa visibles desde el interior de la cámara megalítica son variables (ver una explicación detallada en García Sanjuán/Wheatley 2009), lo que importa destacar ahora es que la proyección del eje axial de Menga *corta* de forma casi exacta (con una desviación que se ha estimado en menos de una decena de metros, y que es por tanto despreciable en el sentido general de la tecnología prehistórica) la ubicación de la cavidad natural con arte rupestre (denominada Abrigo de Matababras) que se asocia espacialmente a la dispersión lítica de Piedras Blancas I (Fig. 10).

La interpretación hipotética dada a este hecho parte de considerar asimismo el papel que La Peña de los Enamorados ha tenido históricamente en la región en tanto que hito paisajístico con fuerte presencia en las narraciones orales locales (por el acusado antropomorfismo de su silueta) y referencia visual de un importante cruce de caminos. La singular orientación de Menga habría sido un dispositivo material dirigido a mantener constante la referencia visual entre un lugar de más que probables connotaciones sagradas (forma natural conspicua, abrigo con representaciones gráficas y monolito asociado a materiales líticos con una concentración definida) previamente existente, y la cámara megalítica en el momento de su construcción. En otras palabras, la orientación atípica de Menga hacia el santuario rupestre de Matababras en La Peña de los Enamorados podría interpretarse como un acto de reconocimiento o evocación a la propia memoria

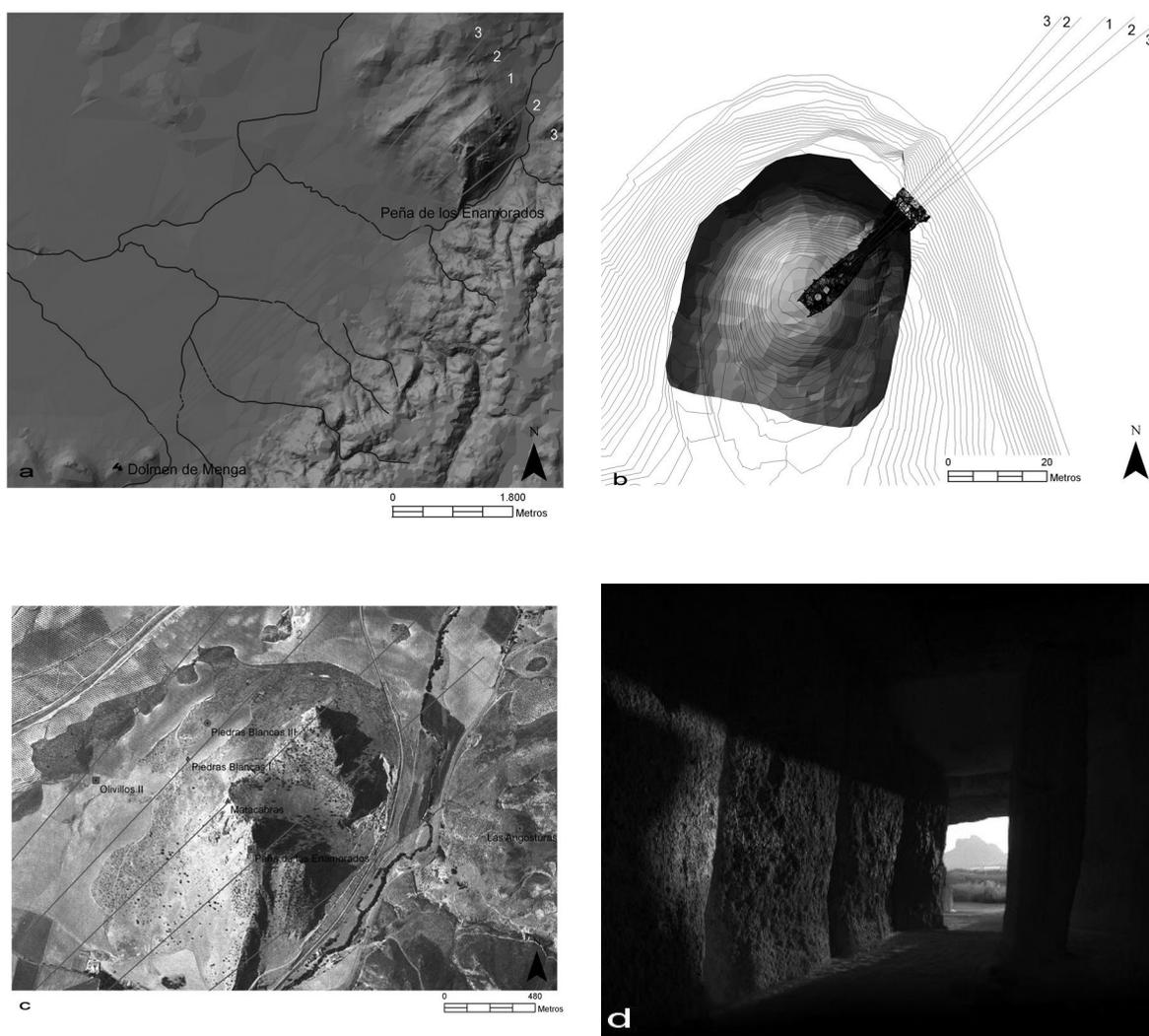


Figura 10. Relación visual del Dolmen de Menga con La Peña de los Enamorados. Proyección del eje axial (1), y campos de visión desde el fondo de la cámara (2) y desde el primer pilar (3). a) Vista general; b) Proyección desde la cámara megalítica de Menga; c) Proyección sobre La Peña de los Enamorados; d) Imagen de La Peña desde el interior de Menga. Fuente: García Sanjuán/Wheatley 2008.

cultural de las comunidades que concibieron y erigieron esta excepcional construcción megalítica.

VÍAS DE PASO

El tercer tema empleado aquí para ejemplificar la contribución de los SIG a la maduración del análisis arqueológico de las relaciones espaciales remite al problema de la modelización del movimiento humano. Desde un punto de vista económico y social, el medio físico es escenario del movimiento de personas, productos (incluyendo, notablemente, animales) e información. La cultura material y la manipulación del medio físico han sido empleadas desde la Prehistoria para fijar pautas de movimiento en el espacio. La formación de las redes de vías y

caminos por los que dicho movimiento se verifica ha sido tradicionalmente considerado un problema casi intratable desde la arqueología. En el caso de la Prehistoria Reciente del Sur de la península ibérica, sin embargo, se viene dando desde los años 1970 un interesante debate acerca del papel que determinados monumentos (por ejemplo construcciones megalíticas y estelas decoradas) pudieron tener como demarcaciones territoriales asociadas a vías y lugares estratégicos de paso, tales como caminos, vados, puertos, etc. (Chapman 1979; Walker 1983; Cara/Rodríguez 1987; Criado *et alii* 1991; Ruiz-Gálvez/Galán 1991; Galán/Martín 1992; Galán 1993; Fairén *et alii* 2006).

Este debate se ha visto de hecho re-vigorizado por la aparición en los SIG de utilidades de cálculo de rutas

óptimas, las cuales pueden ser diversas. Entre los principales ejemplos de utilización se pueden mencionar tanto la predicción como la replicación de rutas de desplazamiento. Desde el punto de vista metodológico, la creación de rutas óptimas implica, al igual que la creación de áreas isócronas anteriormente descritas, conocer las variables que afectan la accesibilidad del terreno. En este sentido, para su desarrollo es necesario llevar a cabo de forma preliminar un análisis de *superficie de costo*, el cual consiste en la habilidad de asignar un “costo” o impedancia determinada a cada unidad de distancia (en el caso del SIG a cada celda en el raster), calculándose el costo acumulado de viajar a través de dicha superficie. Este tipo de análisis nos permite reemplazar las propiedades espaciales cartesianas por superficies mucho más complejas, integrando propiedades relevantes del terreno que pueden ser asignadas por el mismo investigador en cada caso particular. Para ello es necesaria la creación de una superficie de fricción en la cual, la variable elegida como principal influencia en la accesibilidad del terreno puede ser la pendiente, sin embargo, se debe considerar que a pesar de ser determinante en el costo de desplazamiento, no es necesariamente el único factor que influye en el trazado o la elección de una ruta.

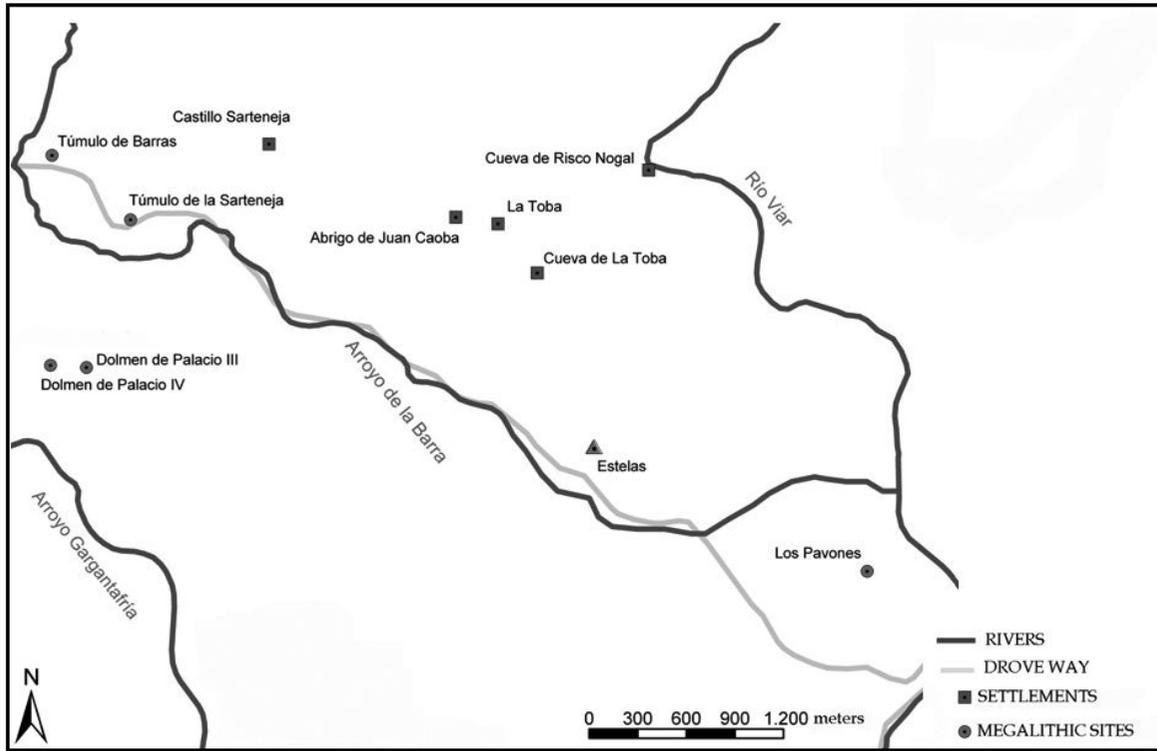
Una vez seleccionado el factor del costo se debe definir como medirlo. En este sentido, el gasto energético o de tiempo puede ser considerado como unidad de medición. En casos específicos en los que se estudian sociedades con cierta conformación económica y social, como es el caso de comunidades ganaderas, una variable puede primar sobre otras y en ese caso, la elección adecuada de las unidades de costo puede dar resultados más completos y con mayor potencial de interpretación. Para ello se puede partir de la premisa que considera que la acentuación de la pendiente produce un mayor gasto energético. Por otra parte, se debe tener en cuenta que las rutas óptimas tienen un punto de origen y uno de término (nodos) por lo que se requiere una capa de estas localizaciones para su cálculo. Con los parámetros ya establecidos se aplica un algoritmo que calculará de acuerdo a estos términos el costo acumulativo de viajar a través de la superficie entera a partir de los nodos definidos a las celdas adyacentes, las cuales cuentan con un valor asignado de fricción. Durante este proceso, la celda más cercana con el menor valor es buscada repetidamente hasta que cada una de las celdas tiene un valor de costo acumulativo asignado. Finalmente una capa raster de dirección es creada en la cual, el algoritmo asigna un número a cada celda que identifica cual de sus vecinos más cercanos tienen el menor valor, creando una “dirección” de regreso a la celda de origen por la ruta más óptima en cuanto a costo.

En el caso de la Prehistoria Reciente del Sur la Península y en particular de la región de Almadén de la Plata

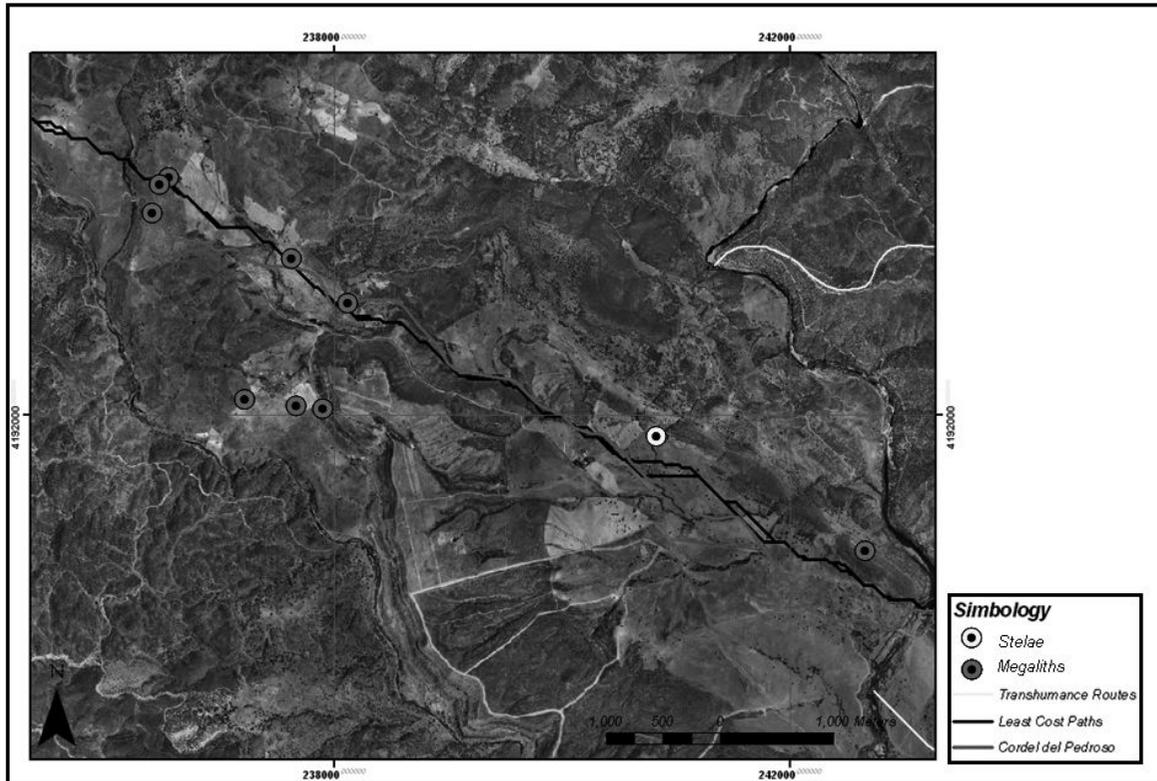
(Sevilla), las observaciones empíricas de campo y los análisis de visibilidad ya habían conducido a sugerir, por una parte, que los monumentos megalíticos pudieron jugar un papel importante en actividades ganaderas de carácter trashumante teniendo estos monumentos una función de hitos o marcadores en el paisaje (García Sanjuán 2004; García Sanjuán *et alii* 2006). Con la finalidad de investigar estas observaciones más en profundidad se ha realizado un estudio monográfico de este tema en relación con el grupo de construcciones megalíticas de Almadén de la Plata ya anteriormente citado (Murrieta 2007; Murrieta *et alii* en prensa). En síntesis, se llevó a cabo en primera instancia, una prueba estadística de significación (Kolmogorov-Smirnoff), para explorar si la relación entre los monumentos megalíticos y las vías pecuarias, fue producto de una intención cultural o si su relación es aleatoria. Los resultados de esta prueba fueron positivos en cuanto a nuestra hipótesis señalando que sí existió una correlación entre ambos elementos. Por otra parte, investigando la naturaleza de las vías pecuarias se realizó un análisis de rutas óptimas con la idea de examinar la teoría de que estas se desarrollaron persiguiendo un aprovechamiento del paisaje buscando los trazados más óptimos en cuanto a esfuerzo realizado. Es reconocido que existen muchos otros factores que pueden influenciar el movimiento y por lo tanto el trazado de vías en cualquier paisaje. Sin embargo, para el desarrollo futuro de un modelo más robusto de movimientos se propuso experimentar primero con la idea de una “óptima utilización” del paisaje para ver si este fue el caso en Almadén. Utilizando la metodología ya descrita se crearon las rutas óptimas realizándose posteriormente una comparación entre estas y la capa de vías pecuarias (Fig. 11).

Mediante este análisis espacial se comprobó que existe una correlación positiva entre las vías pecuarias y los caminos calculados lo que sugiere que la optimización de la inversión de energía durante una travesía constituyó un factor de importancia en la definición de las rutas. En cuanto a la conexión entre los megalitos y las vías pecuarias, los indicios de asociación son robustos lo cual es congruente con otras investigaciones realizadas. En el sentido histórico, el desarrollo de las actividades ganaderas en la Sierra Norte de Sevilla (una comarca de Sierra Morena occidental) siempre ha implicado un profundo conocimiento por parte del pastor en cuanto al paisaje, lo cual puede sugerir que los megalitos pudieron servir como puntos de referencia para su orientación.

En este sentido, la ejecución de estos análisis mediante el SIG permitió plantearse nuevas interrogantes en cuanto a los factores ambientales y procesos sociales implícitos que pudieron influenciar en la configuración de los patrones de movilidad de estas sociedades.



a



b

Figura 11. a) Mapa del sector Sureste del municipio de Almadén de la Plata (Sevilla) mostrando la distribución de asentamientos, monumentos megalíticos y estelas en la cabecera del valle del río Viar. Fuente: García Sanjuán *et alii*, 2006b, 136); b) Análisis de rutas óptimas mostrando el ajuste entre el trazado de la vía pecuaria conocida como El Cordel del Pedroso, que atraviesa esa zona, y la ruta de mínimo coste según la pendiente. Fuente: Murrieta Flores *et alii* en prensa.

REFLEXIÓN FINAL

El análisis espacial es un recurso fundamental en el propósito de la arqueología de entender las sociedades pasadas. A pesar de ser una herramienta de aplicación relativamente nueva, los SIG han revolucionado metodológicamente el campo del análisis espacial en nuestra disciplina gracias a su capacidad de rápida síntesis y análisis de datos que antes podía tomar un intervalo de tiempo muy largo explorar. Este artículo ha pretendido explicar e ilustrar con ejemplos algunas de las principales aplicaciones de los SIG a problemas comunes de investigación espacial a diferentes escalas, empleando para ello casos de investigaciones recientes en relación con la Prehistoria Reciente del Sur de la Península Ibérica. Como se ha podido observar en esta resumida serie de ejemplos circunscritos a nuestra experiencia investigadora, la utilización de los análisis disponibles a través de un SIG en arqueología puede ser explotada en diversos campos que van desde la conservación de datos y creación de mapas, hasta el análisis robusto y formal de datos relevantes para la comprensión de la articulación del espacio en todas sus dimensiones (económica, social, ideológica). El potencial de los diversos análisis espaciales disponibles en las actuales plataformas SIG no ha sido todavía explotado en su totalidad desde nuestra disciplina. Sin embargo, a pesar de la accesibilidad de esta herramienta debe tenerse en cuenta que el conocimiento sobre las implicaciones teóricas y metodológicas que se presentan en cada uno de los análisis debe ser profundo con el fin de sacar el máximo partido de su aplicación y evitar tanto la obtención de conclusiones erróneas como el uso de la tecnología SIG *per se*. El futuro de los SIG y su aplicación en la investigación de casos arqueológicos, se presenta en nuestra opinión brillante, pues constituye la mejor herramienta y solución en cuanto a análisis espacial disponible hoy en día.

BIBLIOGRAFÍA

AMADO, X. 1997, La aplicación del GPS a la Arqueología, *Trabajos de Prehistoria* 54 (1), 155-165.
BAENA, J., BLASCO, C. 1997, Cambios en los patrones de asentamiento y visibilidad. El Bronce Final y la Primera Edad del Hierro en el Bajo Manzanares, in Baena, J., Blasco, C., Quesada, F. (eds.), *Los SIG y el Análisis Espacial en Arqueología*, Madrid, 195-212.
BERMÚDEZ, J. 2004a, Rutinas para el cálculo acumulado de visibilidades y rutas óptimas: algunas reflexiones sobre prospección, SIG, gestión y análisis espacial en arqueología, *Arqueología Espacial* 24-25, *La Prospección. Homenaje a Carmen Torres Escobar*, 283-296.
BERMÚDEZ, J. 2004b, Creación de rutinas o macros con el programa IDRISI: el cálculo acumulado de

visibilidades y rutas óptimas, in Martin, J. C. Y Lucena, A. M. (eds.) 2004, *Actas del I Encuentro Internacional de Informática Aplicada a la Investigación y la Gestión Arqueológicas (Córdoba 5-7 de Mayo de 2003)*, Córdoba, 407-418.

CARA, L., RODRÍGUEZ, J. M. 1987, Trashumancia ganadera y megalitos. El caso de Valle Medio-Bajo del río Andarax (Almería), *Actas del XVIII Congreso Nacional de Arqueología (Islas Canarias, 1985)*, Zaragoza, 235-248.

CHAPMAN, R. W. 1979, Transhumance and megalithic tombs in Iberia, *Antiquity* 53 (208), 150-152.

COLOSI, F., GABRIELLI, R., ROSE, D. 2001a, Integrated use of DGPS and the total station for the survey of archaeological sites: the case of Colle Breccioso, in Stancic, Z., Veljanovski, T. (eds.), *Computing Archaeology for Understanding the Past. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 2000*, Oxford, 9-12.

COLOSI, F., GABRIELLI, R., PELOSO, D., ROSE, D. 2001b, Impiego del Differential Global Positioning System (DGPS) per lo studio del paesaggio antico: alcuni esempi rappresentativi, *Archeologia e Calcolatori* 12, 181-198.

CRIADO, F. 1988, Arqueología del paisaje y espacio megalítico en Galicia, *Arqueología Espacial* 12, 61-117.

CRIADO, F., FÁBREGAS, R. 1989, The megalithic phenomenon of northwest Spain: main trends, *Antiquity* 63, 682-696.

CRIADO, F., FÁBREGAS, R., VAQUERO, J. 1991, Concentraciones de túmulos y vías naturales de acceso al interior de Galicia, *Portugalia* 11-12, 27-38.

DAVIDSON, I., BAILEY, G. N. 1984, Los yacimientos, sus territorios de explotación y la topografía, *Boletín del Museo Arqueológico Nacional* 2 (1), 25-43.

ERICSON, K. 2002, Visible intentions? Viewshed analysis of Bronze Age burial mounds in western Scania (Sweden), in Scarre, C. (ed.), *Monuments and Landscape in Atlantic Europe. Perception and Society during the Neolithic and Early Bronze Age*, Routledge, 179-191.
ESTRADA, F. 1997, GPS and GIS as aids for mapping archaeological sites, *Archaeological Computing Newsletter* 47, 5-10.

FAIRÉN, S., CRUZ, M., LÓPEZ-ROMERO, WALID, S. 2006, Las vías pecuarias como elementos arqueológicos" in Grau, I. (ed.), *La Aplicación de los SIG en la Arqueología del Paisaje*, Alicante, 55-68.

FINDLOW, F. J., ERICSON, J. E. (eds.) 1980, *Catchment Analysis. Essays on Prehistoric Resource Space*, Los Angeles.

FORTEZA, M., GARCÍA SANJUÁN, L., HERNÁNDEZ, M. J., SALGUERO, J., WHEATLEY, D. 2008, El cuarzo como material votivo y arquitectónico en el complejo funerario megalítico de Palacio III (Almadén de la Plata, Sevilla): análisis contextual y mineralógico, *Trabajos de Prehistoria* 65. 2, 135-150.

GABRIELLI, R. 2001, Introduzione all'uso dei GPS in Archeologia, *Remote Sensing in Archaeology*, 1-25.

- GALÁN, E. 1993, *Estelas, Paisaje y Territorio en el Bronce Final del Suroeste de la Península Ibérica*, *Complutum Extra 3*, Madrid.
- GALÁN, E., MARTÍN, A. M. 1992, Megalitismo y zonas de paso en la cuenca extremeña del Tajo, *Zephyrus* 44-45, 193-205.
- GARCIA SANJUAN, L. 1999, *Los Orígenes de la Estratificación Social. Patrones de Desigualdad en la Edad de Bronce del Suroeste de la Península Ibérica (Sierra Morena Occidental c. 1700-1100 a.n.e/2100-1300 A.N.E.)*, Oxford.
- GARCÍA SANJUÁN, L. 2004, La prospección arqueológica de superficie y los SIG, in Martín, J.C., Lucena, A. M. (eds.), *Actas del I Encuentro Internacional de Informática Aplicada a la Investigación y la Gestión Arqueológicas (I IAIGA, Córdoba, 5-7 de Mayo de 2003)*, Córdoba, 185-210.
- GARCÍA SANJUÁN, L. 2005, *Introducción al Reconocimiento y Análisis Arqueológico del Territorio*, Barcelona.
- GARCÍA SANJUÁN, L., HURTADO PÉREZ, V., MÁRQUEZ PÉREZ, J. (en prensa), El marco territorial de El Trastejón en el contexto de las estrategias de asentamiento en la Edad del Bronce de Sierra Morena occidental, in Hurtado, V. (ed.), *El Asentamiento de El Trastejón (Huelva). Investigaciones en el Marco de los Procesos Sociales y Culturales de la Edad del Bronce en el Sur de la Península Ibérica*, Sevilla.
- GARCÍA SANJUÁN, L., WHEATLEY, D. W. 2003, Obtención de micro-topografías de alta precisión de yacimientos arqueológicos mediante DGPS, *Mapping. Revista de Cartografía, Sistemas de Información Geográfica, Teledetección y Medio Ambiente* 89, 94-98.
- GARCÍA SANJUÁN, L., WHEATLEY, D. W. 2009, El marco territorial de los Dólmenes de Antequera: Valoración preliminar de las primeras investigaciones, in Ruiz, B. (ed.), *Dólmenes de Antequera. Tutela y Valorización Hoy*, Sevilla, 126-141.
- GARCÍA SANJUÁN, L., RIVERA JIMÉNEZ, T., WHEATLEY, D. W. 2006a, Prospección de superficie y documentación gráfica en el Dolmen del Llano de la Belleza (Aroche, Huelva), *Anuario Arqueológico de Andalucía/2003 Tomo III. Actividades de Urgencia*, Sevilla, 181-192.
- GARCÍA SANJUÁN, L., WHEATLEY, D. W., FÁBREGA ÁLVAREZ, P., HERNÁNDEZ, M. J., POLVORINOS DEL RÍO, A. 2006b, Las estelas de guerrero de Almadén de la Plata (Sevilla). Morfología, tecnología y contexto, *Trabajos de Prehistoria* 63 (2), 135-152.
- GARCÍA SANJUÁN, L., METCALFE-WOOD, S., RIVERA, T., WHEATLEY, D. W. 2006c, Análisis de pautas de visibilidad en la distribución de monumentos megalíticos de Sierra Morena occidental, in Grau, I. (ed.), *La Aplicación de los SIG en la Arqueología del Paisaje*, Alicante, 181-200.
- GILLINGS, M., GOODRICK, G. T. 1996, Sensuous and reflexive GIS: exploring visualisation and VRML, *Internet Archaeology* 1: <http://intarch.ac.uk/journal/issue1/gillings/>.
- GILMAN, A., THORNES, J. B. 1985, *Land-Use and Prehistory in South-East Spain*, London.
- GONZÁLEZ ACUÑA, D. 2001, Análisis de visibilidad y patrones de asentamiento protohistóricos. Los yacimientos del Bronce Final y Periodo Orientalizante en el Sureste de la Campiña Sevillana, *Archeologia e Calcolatori* 12, 123-142.
- HIGGS, E. S., VITA-FINZI, C. 1972, Prehistoric economies: a territorial approach, *Papers in Economic Prehistory* 27-36, Cambridge.
- HOSKIN, M. 2001, *Tombs, Temples and their Orientation. A New Perspective on Mediterranean Prehistory*, Oxford.
- JARMAN, M. R., VITA FINZI, C., HIGGS, E. S. 1972, Site catchment analysis in archaeology, in Ucko, P., Tringham, R., Dimbleby, C. (eds.), *Man, Settlement and Urbanism*, London, 61-66.
- KEAY, S., WHEATLEY, D., POPPY, S. 2001, The territory of Carmona during the Turdetanian and Roman periods: some preliminary notes about visibility and urban location, in Caballos, A. (ed.), *Carmona Romana, Actas del III Congreso de Historia de Carmona*, Sevilla, 397-409.
- LAKE, M. W., WOODMAN, P. E., MITHEN, S. J. 1998, Tailoring GIS software for archaeological applications: an example concerning viewshed analysis, *Journal of Archaeological Science* 25, 27-38.
- LÓPEZ-ROMERO, E. 2007, Factores visuales de localización de los monumentos megalíticos de la Cuenca del Sever, Portugal-España, *Trabajos de Prehistoria* 64 (2), 73-93.
- MARTÍNEZ, S., SÁEZ, F., MALALANA, A. 1997, La aplicación de los SIG como complemento para el estudio de la organización del espacio en la marca media andalusí. El sistema de Atalayas en la cuenca del Jarama (Madrid), in Baena, J., Blasco, C., Quesada, F. (eds.), *Los SIG y el Análisis Espacial en Arqueología*, Madrid, 273-310.
- MURRIETA, P. A. 2007, Mobility, Transhumance and Prehistoric Landscape. A GIS Approach to the Archaeological Landscape of Almadén de la Plata in Andalucía, Spain, Southampton.
- MURRIETA, P. A., WHEATLEY, D. W., GARCÍA SANJUÁN, L. (en prensa), Movilidad y vías de paso en los paisajes prehistóricos: megalitos y vías pecuarias en Almadén de la Plata (Sevilla, España), *Actas del V Simposio Internacional de Arqueología de Mérida. Sistemas de Información Geográfica y Análisis Arqueológico del Territorio (Mérida, 7-10 de Noviembre de 2007)*.
- PERRY, J. 1992, *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*.

- RAJALA, U. 2004, The landscape of power: visibility, time and (dis)continuity in central Italy, *Archeologia e Calcolatori* 15, 393-408.
- ROPER, D. C. 1979, The method and theory of site catchment analysis: A review, in Schiffer, M. B. (ed.), *Advances in Archaeological Method and Theory* 2, Tucson, 119-140.
- RUGGLES, C. L. N., MEDYCKYJ-SCOTT, D. J. 1996, Site location, landscape visibility and symbolic astronomy: a Scottish case-study, in Mascher, H.D.G. (ed.), *New Methods, Old Problems. Geographic Information Systems in Modern Archaeological Research*, Carbondale, 127-146.
- RUIZ-GÁLVEZ, M., GALÁN, E. 1991, Las estelas del suroeste como hitos de vías ganaderas y rutas comerciales, *Trabajos de Prehistoria* 48, 257-273.
- VICENT, J. M. 1991, Fundamentos teórico-metodológicos para un programa de investigación arqueogeográfica, in López, P. (ed.), *El Cambio Cultural del IV al II Milenios a. C. en la Comarca Noroeste de Murcia*, Madrid, 31-79.
- VILLOCH, V. 2000, *La Configuración Social del Espacio entre las Sociedades Constructoras de Túmulos en Galicia*, Santiago de Compostela.
- VITA-FINZI, C., HIGGS, E. 1970, Prehistoric economy in the Mount Carmel area of Palestine: site catchment analysis, *Proceedings of the Prehistoric Society* 36, 1-37.
- WALKER, M. J. 1983, Lying a mega-myth: dolmens and drovers in prehistoric SE Spain, *World Archaeology* 15, 37-50.
- WHEATLEY, D. W. 1995, Cumulative viewshed analysis: A GIS-based method for investigating intervisibility and its archaeological application, in Lock, G., Stancic, Z. (eds.), *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*, London, 171-185.
- WHEATLEY, D. W. 1996, The use of GIS to understand regional variation in Neolithic Wessex, in Mascher, H. D. G. (ed.), *New Methods, Old Problems. Geographic Information Systems in Modern Archaeological Research*, Centre for Archaeological Investigations, Carbondale, 75-103.
- WHEATLEY, D. W., GILLINGS, M. 2000, Vision, perception and GIS: developing enriched approaches to the study of archaeological visibility, in Lock, G. (ed.), *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*, NATO Science Series A, Amsterdam, 1-27.
- WHEATLEY, D. W., GILLINGS, M. 2002, *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Applications of GIS*, London.
- ZAMORA, M. 2006, Visibilidad y SIG en arqueología: mucho más que cerros y unos, in Grau, I. (ed.), *La Aplicación de los SIG en la Arqueología del Paisaje*, Alicante, 41-54.
- ZAMORA, M. 2008, *Territorio y Espacio en la Protohistoria de la Península Ibérica. Estudios de Visibilidad: El Caso de la Cuenca del Genil*, Madrid.