

# La Arqueología peninsular y los SIG: presente y futuro

**Javier BAENA PREYSLER**  
**Universidad Autónoma de Madrid**

## Introducción

En la última década la investigación arqueológica de nuestro país ha sufrido importantes transformaciones que han fortalecido enormemente las posibilidades de interpretación del registro arqueológico en su faceta espacial. Este hecho ha afectado a la formulación de trabajos exclusivamente teóricos, y en los referidos a aspectos meramente técnicos o metodológicos. Una de las vías que más interés han despertado en este último caso ha sido la de los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la arqueología, para algunos SIA (Dantas 1988, Pinto 2001).

La implantación dentro de nuestro campo de esta metodología de investigación, aunque no exenta de los riesgos propios de la simulación informática y la percepción exclusivamente determinista de las causas que determinan los patrones de asentamiento, ha supuesto una verdadera revolución tanto en el campo de la presentación de los resultados, aspecto que ya los sistemas de diseño asistido por ordenador habían permitido obtener, como en relación con la propia investigación. Ello ha sido en gran medida consecuencia de la creación y aplicación de modelos geográficos como vía exploratoria en el conocimiento del comportamiento de comunidades del pasado. En nuestro campo, la incorporación de este tipo de herramientas y modelos se ha visto enormemente facilitada por el desarrollo previo de lo que se ha dado en llamar New Archaeology, o Nueva Arqueología, corriente de la que se nutre la Arqueología Espacial. Una prueba de la clara integración de estos procedimientos de investigación es el hecho de que en la actualidad sean uno de elementos destacados de lo que se ha dado en llamar Arqueología Cognitiva.

En este trabajo, aunque lo tratemos brevemente, no se pretende, profundizar tanto en las bases teóricas en las que se asienta la aplicación de los SIG, como en tratar de comprender sus posibilidades y limitaciones dentro de un campo en el que los avances imponen cambios drásticos en periodos de tiempo muy breves.

Tan importante como conocer los procedimientos y estructura de datos integrados en un SIG es el analizar las posibilidades de aplicación e interpretación que se derivan de los mismos. Para ello nos permitiremos comentar algunos aspectos y problemáticas concretas a partir de aplicaciones desarrolladas en el ámbito peninsular, en aspectos relacionados con la gestión del patrimonio arqueológico y con la investigación.

En el primer caso contamos ya con sistemas implantados tanto a escala de administración, como a municipal o estrictamente local, que se destinan tanto a la gestión de patrimonio general, su protección, gestión y control, como a la presentación y divulgación de importantes yacimientos. En este campo Comunidades como las de Andalucía, Cataluña, Galicia o Madrid, son ejemplos en los que los SIG han puesto de manifiesto las enormes capacidades de gestión que poseen.

Del mismo modo insistiremos en algunas de las posibilidades que tienen estas herramientas dentro de la investigación tanto para el estudio de momentos antiguos como para fases más recientes. Por último nos interesa avanzar algunas de las tendencias hacia las que se dirigen los desarrollos y las necesidades de los arqueólogos y arqueólogas del presente.

## **Los Sistema de Información Arqueológica (SIG aplicados a la Arqueología): marco teórico**

Existen numerosos trabajos en la actualidad en los que se han analizado con suficiente profundidad numerosos aspectos teóricos relacionados con los SIG (Burrough 1986, Goodchild y Gopal 1989, Maguire, etl al 1991, etc.).

En todos estos trabajos se recogen algunos de los presupuestos básicos que conforman un SIG y que fundamentalmente pasan por estrcuturas previas a los propios SIG, que hoy en día siguen maneteniendo su propia caracterización individual. Hablamos de las Bases de datos y los Sistemas gestores de Bases de datos o DBMS (Espiego y Baena 1999), estructuras que manejan datos mediante distintos lenguajes para la descripción y la consulta (DDL y SQL respectivamente) que se estructuran siguiendo formatos lógicos, de los que hasta hace algunos años destacaban los vectoriales y los raster.

Estas estrcuturas de datos merecen que nos detengamos algo más en ellas, pues condicionan en gran medida la forma en que vamos a presentar y manipular los datos arqueológicos en nuestro sistema. Una imagen de la estructura en que son entendidos y manipulados los datos y realidades dentro de los SIG ha sido sintetizado recientemente con éxito por Tschan (Tschan 2000). Según este autor los dominios de un SIG quedan enmarcados en los siguientes conceptos:

Modelos de datos, o parte real del mundo a integrar dentor de nuestro sistema. Se trataría por tanto de la realidad a la que hacen referencia nuestros datos informáticos.

Estrcutura de los datos, o composición y forma en la que los datos son integrados en el SIG.

Representación de los datos, o forma en la que los datos son representados, y por último,

Topología de los datos o relación de las propiedades de los datos.

Estos conceptos quedan estructurados a lo largo de un proceso cíclico a lo largo del tiempo que establece como punto de partida :

el mundo real o una parte del mismo, objeto de nuestro interés,

un proceso de abstracción de esa realidad que se adapte a,

un modelo computacional conceptual que cree,

un modelo lógico o empírico de análisis, tratamiento o simple representación de los datos de partida.

Hemos comentado que es un proceso cíclico en la medida en que este circuito se ha producido desde la aparición de los sistemas CAD a la actual generación de SIG presentes en el mercado. De esta forma, las dos fases intermedias de abstracción y adaptación a modelos computerizados de la información se realiza a partir de distintos modelos o estructuras de datos.

El primero de ellos, el modelo raster, se basa en el principio de la reducción teselar. La realidad en este caso se ve reducida mediante simplificación de una malla de teselas a un conjunto de valores asignados a dichas celdillas. En este modelo de datos, cualquiera que sean las dimensiones reales a tratar, siempre se verán sujetas a las limitaciones derivadas de la resolución de la celdilla. En cualquier caso el ajuste a la realidad del modelo computacional no será exacto, máxime cuando las resoluciones de la celdilla no sean muy detalladas

El modelo vectorial, parte de la definición cartesiana de elementos a partir de sus coordenadas referidas a un sistema de proyección geográfica. Los modelos son creados de esta forma desde lo más elemental a lo más complejo. El modelo de datos se basa en el objeto, o lo que es lo mismo, en que las entidades del mundo real se definen por sus propias características espaciales, a partir de criterios de exactitud espacial (Tschan 1999). Las estructuras básicas de este modelo serán por tanto, puntos, líneas y polígonos. La inclusión en los actuales paquetes informáticos de modelos de información raster se realiza con carácter excluyente en la mayor parte de los casos, estableciendo un tratamiento operativo segregado de ambos modelos de datos.

En algunos casos se han propuesto como estructuras de datos diferenciados los TINs (Triangular Irregular Network). Realmente no son más que estructuras derivadas de matrices de puntos con valores altimétricos, y por tanto de formatos vectoriales. Han sido diseñadas para la representación de superficies tridimensionales y su posterior análisis (visibilidades, volúmenes, pendientes, etc.).

En los últimos años viene imponiéndose lo que se conoce como SIG orientados al objeto o OOGIS (Object Oriented Geographic Information Systems). Estos programas se caracterizan por estar basados en modelos abiertos que pueden emplear indistintamente cualquiera de las estructuras de datos anteriormente descritos para la representación del mundo real (u objetos). Ello significa que cualquier entidad arqueológica física (un hoyo, un fragmento cerámico, una lasca, etc.) o conceptual (santuario, centro cívico, un basurero, etc.) puede ser definida con independencia de los límites que su representación pueda imponer. Para ello resultará esencial partir de la definición de los componentes de las entidades, tarea más que compleja en sí misma, para con ello llegar a la definición del conjunto. Así por ejemplo, el objeto "estructura de habitación" podría estar definido, en según que periodo, a través de las subclases "huellas de poste", "restos de madera", "piedras", etc.. Su apariencia o representación no difiere pues de aquellas en las que el modelo de datos es vectorial o raster (González Pérez 1999b).

En lo referente al marco teórico en el que nos movemos con los SIG, hemos de tener presente como punto de partida que nuestra aproximación al pasado a través de los SIG no debería diferenciarse de la que cualquier ciencia humana adoptase en la actualidad. No debemos olvidarnos que tratamos con personas y no con objetos. Por ello el papel de los datos espaciales poseen un valor fundamental en cualquiera de las escalas en que se viene trabajando pero no es en absoluto determinante a la hora de explicar su manifestación. Otra cosa es el peso que queramos darle a los aspectos espaciales, y dentro de ellos el valor que asignemos a lo físico respecto de lo cultural.

Los modelos de ocupación de cada grupo humano deberían determinarse a través de un conjunto de factores interrelacionados (factores físicos, económicos, sociales, "políticos", religiosos, militares, históricos o de tradición, etc.), sin exclusión de ninguno de ellos. Pero los límites del rigor interpretativo y de la propia conservación del registro arqueológico con frecuencia sobreponderan aquellos que son perceptibles en la actualidad (Bermúdez 2001).

Los datos de partida son otro aspecto fundamental. En nuestro caso nos referimos a excavaciones y prospecciones. La calidad del registro en cada uno es variable pero en ninguno menospreciable. La capacidad de interpretar el registro guarda por ello una relación directamente proporcional con su calidad. Con frecuencia nos encontramos con situaciones en las que el registro procedente de excavaciones se infravalora y por el contrario el obtenido a partir de prospecciones se sobrevalora. No debemos sin embargo olvidar que estos dos registros no son las únicas vías de acceso a datos que poseemos en nuestro campo (arqueología experimental, etnoarqueología, etc.) susceptibles de ser analizados en una dimensión espacial.

Algo a lo que no estamos acostumbrados dentro del mundo de los SIG es a apreciar trabajos en los que estas herramientas se presentan por sí mismas. Los SIG en nuestra opinión son esencialmente herramientas que nos permiten evaluar desde los aspectos físicos o paleogeográficos, el comportamiento de las comunidades del pasado. Debemos por ello quitarle el sentido místico-teórico que algunos pretenden darle. Si fuese así considerada, la

apreciación personal del usuario quedaría salvaguardada en la medida en que es fácil comprobar como el cuerpo teórico de partida influye decisivamente en la forma de contrastar las hipótesis y de interpretar los resultados pero no en la propia herramienta.

### **Los Sistema de Información Arqueológica: marco empírico. Aplicación de los SIG a la Arqueología en la Península Ibérica.**

En general es perceptible un doble marco en la aplicación de los SIG al campo de la arqueología. Por una parte se observa como algunos investigadores consideran los SIG desde una perspectiva fuertemente empírica analizando sus posibilidades desde un punto de vista práctico. Los SIG se perfilan desde esta perspectiva como una herramienta capaz de gestionar la información y de sondear interactivamente la variable espacial. De esta forma los SIG se convierten en una herramienta exploratoria capaz de plantear hipótesis y líneas de investigación no analizadas hasta el momento (lo que podríamos definir como SIG intuitivo), y al tiempo descartar otras posibles variables asumidas previamente como explicativas.

Por otro lado existe un segundo grupo de investigadores que ven en los SIG una herramienta generadora de modelos de interpretación válidos para el pasado. Los modelos generados vía SIG para estos autores requieren de un planteamiento previo (algo que podría ser definido como SIG reflexivo).

La traducción de estas dos visiones se limita en la mayor parte de los casos a un número concreto pero variable de aplicaciones. Entre las más destacados cabría señalar (Vermeulen 2001), teoría y métodos en los SIG, paisaje y simulación, estudios de macroespacio sobre distribuciones de yacimientos o emplazamientos, estudios de microespacio sobre yacimientos, prospección y modelos de asentamiento, modelos de gestión del patrimonio o CRM (Cultural Resource Management), y por último, la docencia y los SIG.

Son muchos los ejemplos concretos que pueden articularse en alguno de estos apartados aunque la mayor parte de los mismos tienen su campo de aplicación en ejemplos no tanto peninsulares como europeos. Este hecho tiende a poner de manifiesto una creciente progresión en la aplicación de estas herramientas en el campo de la arqueología (Bermúdez 2000), así como el todavía relativo retraso que su aplicación tiene en nuestro territorio.

Los trabajos relacionados con los aspectos metodológicos quedan bien cubiertos con dos de las obras más destacadas publicadas en los últimos años, nacidas desde ambientes tan diferentes como los de Estados Unidos o Europa. En el primer caso destacar la ya clásica obra editada por Allen, Green y Zubrow *Interpreting Space: GIS and Archaeology*, así como su contestación europea en el trabajo editado por Lock y Stancic, *Archaeology and Geographical Information Systems: An European Perspective*. Ambos trabajos son una buena representación del calado que este tipo de herramientas tienen en nuestro campo, así como el relativo desfase que su penetración presenta en un caso respecto al otro, fijémonos que media entre las dos obras un periodo de 5 años, amén de una base teórica de partida mucho más rica y contrastada en el caso europeo.

No es nuestra intención realizar una revisión de los trabajos contenidos en esta y en otras obras, trabajo ya realizado por síntesis bibliográficas (Petrie et al. 1995) y recientes trabajos de investigación (Bermúdez 2000), aunque sí nos interesaría destacar la enorme variedad de casos presentados en los mismos entre los que se establece una clara dicotomía entre los trabajos norteamericanos, dominados por la finalidad de gestión y el dominio de la aplicación de ejemplos estadísticos para la generación de modelos de probabilidad de localización de hallazgos, frente a las posiciones más contrastadas de los modelos europeos entre los que dominan además de aplicaciones vinculadas al CRM algunas aplicaciones más cercanas a la arqueología del paisaje, o modelos de marcado carácter determinista.

Sin ánimo de pretender equiparar estos trabajos sí nos gustaría señalar el trabajo de síntesis realizado a nivel peninsular por Baena, Blasco y Quesada (eds) *Los SIG y el análisis espacial en Arqueología*, obra en la que se presentan mediante ejemplos concretos de nuestro ámbito algunas de las posibilidades que este tipo de herramientas tienen al ser aplicadas al campo de la arqueología. Entre las mismas resulta interesante destacar algunos ejemplos en los que se evalúan las posibilidades de resolver problemas arqueológicos a través de tecnologías no estrictamente SIG (Quesada y Baena 1999), aspecto más que importante si tenemos en cuenta la enorme proliferación de paquetes de software en distribución, y la "herencia CAD" que los arqueólogos poseemos.

Un ejemplo reciente que nos sirve de evaluación para reconocer la situación de la Península es el que se desprende del último "workshop" realizado en el Congreso de Arqueología Peninsular de Vila Real en septiembre de 1999, coordinado por Sande Lemos, Baena, Dantas y Rocha (Oliveira 2000). La mayor parte de los trabajos presentados hacían referencia a sistemas diseñados para la gestión del patrimonio arqueológico (Pedro Sáez et al. 2000, Martins y Dantas 2000, etc.), con especial referencia a los ámbitos urbanos. Estos trabajos no son los únicos realizados en esta línea (Amores et al. 1999, González Pérez, 1999) y ponen en evidencia el alto nivel de aplicación que los sistemas diseñados en nuestro ámbito tienen en la actualidad. No obstante es evidente un cierto retraso en la penetración de estos procedimientos de trabajo, gestión e investigación. Un hecho patente es el que esta tendencia era notoria en obras de síntesis norteamericanas entorno a los años 90 y en la mayor parte de Europa (Espigado y Baena 1999), en Holanda en 1992, Noruega 1992, Reino Unido 1993, Francia 1995, España 1995 e Italia 1996. De seguir una evolución semejante cabría esperar que en los próximos años sigan manteniéndose aplicaciones relacionadas con la gestión del patrimonio y aumenten significativamente el número de aplicaciones enfocadas a la investigación y el análisis de aspectos concretos de la Prehistoria y la Arqueología.

En este sentido podemos destacar algunos trabajos y proyectos recientes en los que se presentan novedosos campos y vías de investigación a través de los SIG. Uno de los ejemplos más destacados es el relativo a la aplicación de sistemas sensores remotos para la obtención de información (Almudena Orejas Sanchez Palencia, Fernandez Posse<sup>\*\*\*</sup>)

Por nuestra parte, en la actualidad contamos con algunos ejemplos en los que los SIG han sido utilizados para analizar aspectos relacionados con la territorialidad de las comunidades del pasado (Baena et al. 1998) o las limitaciones que el registro arqueológico posee en razón de procesos postdeposicionales (Planas 2000).

La integración, en cualquier caso, de todas las fuentes de información que la Arqueología como disciplina proporciona, es una tarea pendiente en nuestro ámbito, ya que su aplicación para el caso de las comparaciones etnográficas tiene algunos ejemplos dentro del ámbito europeo (Novakovic 2001).

### **Problemas y limitaciones en la aplicación de los SIG a la Arqueología**

Como ya hemos señalado en distintas ocasiones, el empleo de procedimientos informáticos complejos como los SIG entrañan numerosos riesgos tanto desde dentro del propio funcionamiento de estas herramientas, como desde su aplicación a la Prehistoria o la Arqueología.

Los problemas básicos de un SIG están en la propia esencia de esta herramienta, y del margen tan amplio de variación o versatilidad de algoritmos y estructuras de información que manejan. Todo proceso de abstracción de la realidad implica en mayor o menor medida la introducción de errores en el tratamiento de la información. Así por ejemplo, al comienzo de la historia de los SIG las resoluciones que las plataformas eran capaces de manejar eran muy limitadas, razón por la que los resultados obtenidos adolecían de escasa precisión. Esta imagen que hoy en día

tenemos de los primeros trabajos elaborados en SIG es la que en un plazo de tiempo breve tendremos de lo que en la actualidad venimos realizando.

No obstante en muy poco tiempo sido testigos del vertiginoso cambio en la capacidad de almacenaje y procesado que tienen los equipos más comunes que pueden ser adquiridos en la actualidad, hecho que nos hace guardar esperanzas de que en breve espacio de tiempo las limitaciones en estas capacidades serán problemas superados.

Resulta más interesante por ello analizar los propios problemas derivados del funcionamiento interno de los programas (software) que en la actualidad se emplea.

Un ejemplo general de las limitaciones que este tipo de herramientas implican ha sido presentado en algunas ocasiones (Kvamme 1990, Robinson y Zubrow 1999). Como ejemplo recogemos las apuntadas por estos últimos autores:

- La resolución de los modelos empleados afecta directamente a los resultados obtenidos.
- Los distintos algoritmos y procedimientos de interpolación de las superficies trabajan de forma distinta a según que resoluciones (por ejemplo las *quintic*, *triangulated*, *quintic* y *cubic* parecen ser las que menor margen de error mantienen en la generación de MDT Robinson y Zubrow 1999).
- La dificultad para reconstruir superficies o distribuciones a partir de polígonos o grids depende de su resolución. No obstante el empleo de distintas estructuras de datos afecta sensiblemente a las mismas.
- Los algoritmos, presentan limitaciones propias pero obviamente serán capaces de trabajar con los datos obtenidos en campo y no de inventárselos.

Otro aspecto destacable al analizar las limitaciones de este tipo de herramientas se deriva directamente de su aplicación al campo de la arqueología.

En este sentido ya se ha discutido reiteradamente la posición de algunos arqueólogos respecto a las posiciones de partida al trabajar con estas herramientas -determinismo, versus CRM- (Van Leusen 1995). Existen sin embargo problemas más concretos ligados al empleo de distintas modelizaciones al alcance de los SIG.

Uno de los más destacados se centra en la definición del sitio arqueológico (yacimiento) y su traslación al modelo SIG. Su consideración es fundamental de cara a análisis posteriores tales como la captación de recursos o la generación de espacios visibles. En este sentido cabe preguntarse cual es la solución ante problemas en los que resulta incluso difícil para los propios arqueólogos llegar a la delimitación de los yacimientos (Lock et al. 1999) cuando existe continuidad en la presencia de artefactos sobre la superficie.

La diferente consideración de los datos de prospección y excavación, esta en la raíz de la incapacidad para establecer los límites reales del yacimiento, y por tanto del espacio que es susceptible de ser empleado tanto a escala de representación, como para la generación de distintos modelos. Esta claro que el empleo de simples factores de densidad de artefactos para establecer la definición del yacimiento no es más que una aproximación que en muchos casos puede dar lugar a errores en la definición de los mismos (Gilling y Sbonias 1999, Planas 2000).

Aspectos como la diacronía, la diferente funcionalidad del espacio o los procesos postdeposicionales pueden alterar una imagen que desde la superficie queda con mucha

frecuencia limitada o enmascarada. En el fondo lo que nos podríamos cuestionar es la verdadera significación de la muestra arqueológica, en la medida en que obviamente es tan sólo una parte a veces insignificante, del registro real en origen. Trabajar por tanto con una cascada de muestreos no facilita nuestra capacidad de interpretar las conductas del pasado.

Sin embargo queremos huir de posiciones catastrofistas que rechazan por estas razones el empleo de una importante parte del registro arqueológico como son los datos de prospección. Esta reflexión tan sólo debe hacernos pensar en la necesidad de contrastar con más intensidad (mediante excavaciones, sondeos o posteriores hallazgos) algunos de los resultados obtenidos mediante la aplicación de los SIG.

Igualmente podríamos plantear muchas preguntas en relación con aspectos tan concretos como la visibilidad y sus implicaciones "funcionales". ¿Qué sentido adquiere controlar el espacio visulamente?. Como respuestas podemos plantera la defensa del territorio y del asentamiento, el control de la actividad alrededor del asentamiento, en zonas alejadas, el control del acceso de otros grupos o personas a un espacio concreto (minas, pasos de ganado, rutas de comercio, etc.), como sistema de comunicación, o incluso como respuesta a criterios estéticos o religiosos. A estas alturas nadie duda de la importancia que en las comunidades primitivas tendría el control visual del espacio y los recursos que en él se enclavan. En general la mayor parte de los análisis de visibilidad se centran en el estudio de visibilidades e intervisibilidades, líneas de visibilidad, visibilidad acumulada, etc. que se ofrecen con enorme facilidad en distintos paquetes informáticos. Los problemas más comunes implícitos en este tipo de análisis parten desde la naturaleza y detalle de los modelos digitales del terreno a partir de los cuales se elaboran, hasta problemas relacionados con variaciones existentes entre el paisaje-topografía actual (base por lo general de los modelos sobre los que se calcula la visibilidad) y los existentes en origen. En este punto resulta enormemente importante valorar los condicionantes derivados de una formación vegetal distinta (por tanto insistimos de un paisaje diferente) a la que en la actualidad existe (Tilley 1994, Gillings y Wheatly 2001), que condicionaría de manera importante las posibilidades de visión desde determinados puntos. Igualmente la comprobación actual de los calculos de visibilidad generados por los sistemas resultan con frecuencia complejos dada la modificación paisajística que, por ejemplo, entornos urbanos han sufrido. En cualquier caso en el tema de la visibilidad nos enfrentamos también a variables que determinan cambios en función de los límites a partir de los cuales se calcula la visibilidad (posibilidades de movilidad del observador), así como las variaciones en las condiciones de visibilidad desde un punto en ciclos diarios e interanuales (Gillings y Wheatly 2001).

Otro aspecto importante es el relacionado con la arqueología de la ausencia. Explicar las razones, no sólo geomorfológicas o geológicas, que determinan la ausencia de ocupaciones en algunos emplazamientos, más aún si consideramos que estos espacios conservan condiciones que los harían adecuados a su ocupación (modelos predictivos). Superados los limites del yacimiento a través de lo que se ha dado en llamar Off-site archaeology es el momento de investigar a través de sistemas integrales de información las razones que determinan la ausencia de testimonios sincronica y diacrónicamente en determinados emplazamientos o regiones (Bintliff 1992).

## **Tendencias**

Desde un punto de vista estructural, o de "interface", parece que los SIG deberían dirigirse hacia una mayor simplificación en el manejo de los programas, sin perdida de sus prestaciones analíticas. En algunos casos la concepción modular que ya es una realidad en muchos productos parece ser la respuesta que desde un punto de vista comercial resulta igualmente ventajosa. Esta línea debería progresar hacia la creación de unos interfaces con el usuario cada vez más intuitivos.

Por otra parte sería necesaria la creación de sistemas integrados de información capaces de dar respuesta a los problemas metodológicos enormemente variados que implican un proceso de excavación (Carmo 2001).

Ya en nuestro campo existen distintas líneas hacia las que los nuevos desarrollos y aplicaciones de los SIG en el campo de la Arqueología deberían encaminarse. En general hablamos de desarrollos que se encuentran en fase experimental, o bien, que por el momento no han tenido su traslación a nuestro campo. Uno de los problemas que están siendo analizados a través de procedimientos SIG es la capacidad de integrar la dimensión temporal mediante recursos o algoritmos que analicen interpreten la información existente a lo largo de secuencias temporales TGIS (Time Geographic Information Systems). Por el momento tan sólo resultan operativas ciertas aproximaciones a la modelización mediante el juego con capas o layers bidimensionales (Castleford 1991, Daly y Lock 1999), aunque en la actualidad ya comienzan a integrarse conceptos de 3d para la representación de cambios temporales. En este sentido merece la pena destacar la propuesta de generación de modelos 3D temporales mediante la "voxelización" ([figura 1](#)).

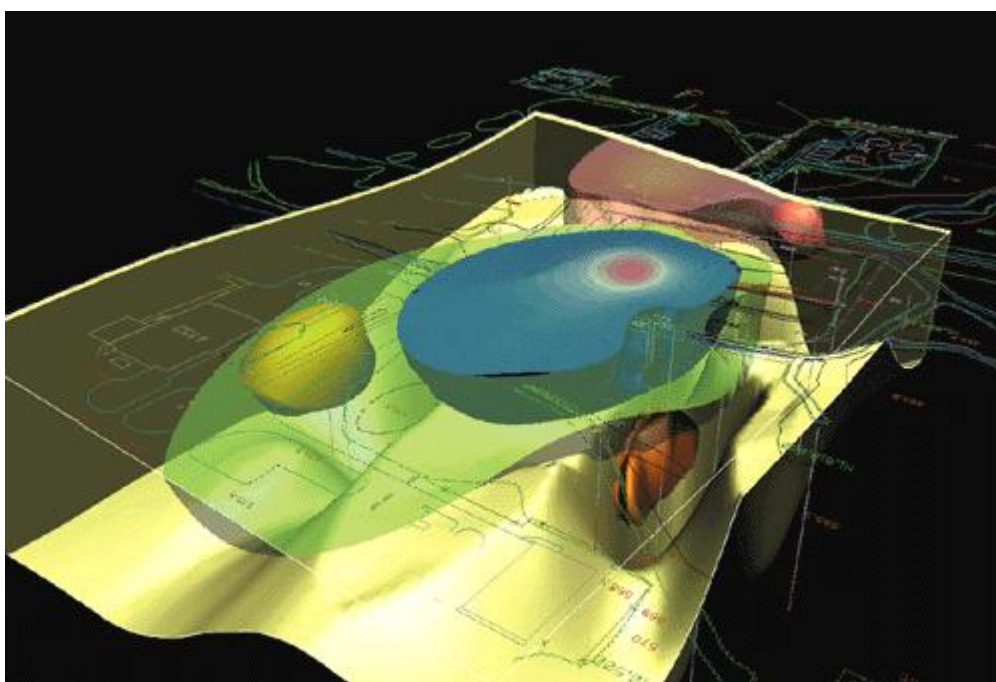


Figura 1: Voxel Analyst programa de análisis 3d real comercializado por Intergraph.

Este concepto alude a la creación de pixels volumétricos (Lin y Mark 1991) en los que queda definida una tercera dimensión, la altura de la celdilla, considerada como la variable altimétrica, temporal, o de cualquier otro tipo. Igualmente se han dado casos en los que la variable temporal se define a partir de series de bidimensionales estructuradas a lo largo de un tercer eje que sería el que representaría la dimensión temporal (Daly y Lock 1999), aunque esta segunda alternativa no deja de ser un "falso" SIG 3D.

En algún caso se ha señalado la importancia que la integración y explotación de las posibilidades de los SIG3d reales tienen en el campo de la arqueología. Un ejemplo concreto es el propuesto para el registro de la secuencia sedimentaria de un yacimiento (Harris y Lock 1996). Si tenemos en consideración la variable temporal implícita en la propia secuencia sedimentaria tendremos que aceptar que la aplicación de estos sistemas a las secuencias estratigráficas no deja de tener una referencia temporal.

En la actualidad se encuentran aplicaciones de este tipo en campos alejados de la Arqueología, como actividades mineras, análisis de salinidad en columnas marinas, o análisis de variación de la capa de ozono (Raper 1989).



Otro campo hacia el que parecen encaminarse los SIG es el de la integración de la realidad virtual como escenarios propios. Este acercamiento entre programas de modelización virtual y los SIG todavía no se ha materializado en productos comerciales. Por el momento tan sólo hemos podido documentar la existencia de módulos capaces de exportar e importar los formatos gráficos propios de un SIG hacia programas de modelización virtual (VRML), pero la concepción del SIG para estos datos no se mantiene con la migración ([figura 2](#)).



Figura 2: Modelización virtual de la casa romana de Carvalheiras, Bracara Augusta. Laboratorio multimedia da unidades de Arqueologia da Universidades do Minho.

En el fondo en los tres casos hablamos de lo mismo, la capacidad de manipular de manera inteligente datos de carácter tridimensional, y no sólo conformarnos con representarlos o animarlos. Queremos poder establecer relaciones entre los elementos contenidos en un espacio tridimensional, bien sea como representación temporal, bien volumétrica o bien cinética (análisis de la variación de la distancia entre los puntos que conforman una forma o volumen). Por el momento resulta relativamente factible la exportación e integración en los SIG actuales de modelos de reconstrucción virtual así como la integración de imágenes de video interactivas.

En el campo de la gestión los objetivos perseguidos parecen más asequibles al menos a corto plazo. Entre éstos cabría destacar la creación de sistemas globales de gestión en dos campos diferenciados. Por una parte la gestión integral del proceso arqueológico, integración de SIG para la gestión de los trabajos de campo y para la investigación (Dantas 1998, Martins y Dantas2000). Por otro lado y en estrecha relación con lo anterior, la creación de redes generales de SIA (sistemas de información arqueológicos) a escalas que superen el ámbito local (comunitarias, estatales, internacionales). Como es obvio gran parte de los problemas que se derivan de estos objetivos vienen de la mano de la falta de estandarización de los datos tanto cartográficos como arqueológicos, por no entrar en aspectos relativos a los formatos lógicos de los mismos, aspecto mucho menos importantes dada la capacidad de exportación e importación que las herramientas informáticas tienen en la actualidad. La coyuntura política tiende en nuestro caso, a facilitar y dificultar al mismo tiempo, la consecución de SIA a escalas globales. Por una parte los procesos de integración en Europa fomentan el establecimiento de estos objetivos a escala continental, mientras que la tendencia de ámbitos locales es la de marcar las diferencias. Una solución ofrecida esta en estrecha relación con el concepto de

"Metadato" o datos de accesibilidad global. El sistema propuesto permitiría la conexión a los distintos SIG de ámbito local existente manteniendo las particularidades de cada uno. Este sistema tiene pocas opciones mientras algunas Comunidades mantengan una política altamente restrictiva en el acceso a los datos arqueológicos en nombre de una mal entendida conservación del patrimonio. Mucho nos tememos que las reticencias podrían venir justificadas por la pérdida de control que estos sistemas globales implicarían, así como un mayor control de la calidad de trabajo realizado por las administraciones.

## BIBLIOGRAFIA

Allen K, Green S. Zubrow E. (eds) (1990): *Interpreting Space: GIS and Archaeology* Taylor and Francis. Londres.

Amores, F. García, L. Hurtado, V. Rodríguez-Bobada, M. (1999): *Geographic Information Systems and Archaeological Resource Management in Andalusia (Spain)*, En Barceló J., Briz I., y Vila, A. (eds), *New Techniques for Old Times, CAA 1998*, BAR Int. Series 757,

351-358

Baena, J.; Álvarez Sanchís, J.; Bermúdez, J. Blasco, C.; Sánchez Moreno, E. (1999) "Digital Cartographical Databases and their application to Archaeology" en Barceló J., Briz I., y Vila, A. (eds), *New Techniques for Old Times, CAA 1998*, BAR Int. Series 757, 137-143.

Baena, J. Blasco, C. y Quesada F., (eds) (1999): *Los SIG y el análisis espacial en Arqueología*. UAM ediciones, Madrid. 310.

Bermúdez, J. (2000): *La aplicación de los sistemas de información geográfica a la Arqueología*. Tesis Doctoral leída en la Universidad Autónoma de Madrid Mayo 2001 (inédita).

Burrough, P. (1986): *Principles of Geographical information system for land resources assessment* Clarendon Press, Oxford University press,

Carmo Riveiro, M. (2001): *A arqueologia e as tecnologias de informacao. Uma proposta para tratamento normalizado do registro arqueologico*, Maestrado de Arqueología. Universidade do Minho Braga 2001 (inédito).

Castleford J. (1991): "Archaeology, GIS, and the Time Dimension: An Overview" en Lock, G. Y Moffett, J (eds), *CAA 1991*. BAR Int. Series 577 Oxford pp.95.106

Dantas C. (1998) *Sistema de Informacao Geografica para a Arqueologia urbana: o caso do Bracara Augusta*. Maestrado de Arqueología. Universidade do Minho Braga 1998 (inédito).

Daly, P.; Lock, G. (1999): *Timing is everything: Commentary on Managing Temporal Variables in Geographic Information Systems*. En Barceló J., Briz I., y Vila, A. (eds), *New Techniques for Old Times, CAA 1998*, BAR Int. Series 757, pp.287-294.

Goodchild, M. Gopal, S. (ed) (1993): *Environmental modeling with GIS*, Oxford University Press

Gillings M. Sbonias K. (1999): *Regional Survey and GIS: The Boeotia project*. en Gillings, M. Mattingly D. Y Dalen J. *Geographical informations Systems and Landscape Archaeology* Oxford. pp.35-54.

Gillings, M. y Wheatly, D. (2001): *Seeing is not Believing*, Proceedings of the COST action G2, On the Good use of geographic Information Systems in Archaeological Landscape studies. European Commission, Luxemburgo, pp.25-36

González Pérez, C. (1999): Proactive User Interfaces for Cultural Resource Managements Systems En Barceló J., Briz I., y Vila, A. (eds), *New Techniques for Old Times*, CAA 1998, BAR Int. Series 757, pp.297-298.

González Pérez, C. (1999b): "Tecnologías de la Información y Patrimonio Cultural 1: el paradigma orientado a objetos", *CAPA* 10, 34.

Harris, T., Lock G. (1996) "Multi-dimensional GIS: exploratory approaches to spatial and temporal relationships within archaeological stratigraphy" en Kamermans H. Y Fennema, K. (eds) *Interfacing the past: Computer applications and Quantitative Methods in Archaeology* CAA95, vol 2, pp.307-16.

Kvamme, K. (1990) GIS algorithms and their effects on regional archaeological analysis, en Allen K, Green S. Zubrow E. (eds) *Interpreting Space: GIS and Archaeology* Londres pp.112-126.

Lock G. Stancic, Z. (eds) (1995): *Archaeology and Geographical Information Systems. A European perspective*. London Taylor and Francis.

Lock, G. Bell, T., Lloyd, J. (1999): Towards a methodology for modelling surface survey data: The Sangro Valley Project. En Gillings, M. Mattingly D. Y Dalen J. *Geographical Information Systems and Landscape Archaeology* Oxford. pp.55-63.

Lin H. y Mark D. (1991): "Spatio-temporal intersection (Stin) and volumetric Modeling". *Proceedings of the GIS/LIS 1991 Conference*.

Maguirre, D. Goodchild, M. Y Rhind, D. (1991): *Geographical information system: principles and applications*, Longman Scientific-technical, Harlow, Essex, Wiley, New York.

Martins, M. Dantas, C. (2000): O projecto SIABRA: um Sistema de Informação para arqueologia urbana de Braga Sistemas de Informação Arqueológica: SIG's aplicados à Arqueologia da Península Ibérica. Coordinadores, Sande Lemos, F. Baena Preysler, J. Dantas Gistal C. Y Rocha G. *Actas del 3er Congreso de Arqueología Peninsular*. Vol X. Porto. 43-62.

Oliveira J. (ed) (2000): *Sistemas de Informação Arqueológica: SIG's aplicados à Arqueologia da Península Ibérica*. Coordinadores, Sande Lemos, F. Baena Preysler, J. Dantas Gistal C. Y Rocha G. *Actas del 3er Congreso de Arqueología Peninsular*. Vol X. Porto. 178.

Planas M. (2000): *El yacimiento del Cancho Gordo (La Cabrera-Madrid): aplicación de un Sistema de Información Geográfico*. Memoria de Licenciatura leída en Noviembre 2000 en la Universidad Autónoma de Madrid, (inédita).

Petrie, L. Johnson, I. Cullen, B. y Kvamme, K (eds.) (1995) *GIS in Archeology ; An annotated Bibliography*, Sydney University Archaeological Methods Series 1, Sydney.

Quesada, F. Baena, J. (1999): Mapas temáticos a partir de cartografía digitalizada: hacia la resolución de problemas elementales, en Baena, J. Blasco, C. y Quesada F., (eds) (1999): *Los SIG y el análisis espacial en Arqueología*. UAM ediciones, pp.93-110.

Raper, J. (1989): *Three Dimensional Application in Geographic Information System*. Taylor and Francis, London.

Sáenz, P. Et al. (2000): Aplicaciones de los SIG al territorio y casco urbano de Écija (Sevilla), Sistemas de Informação Arqueológica: SIG's aplicados à Arqueologia da Península Ibérica. Coordinadores, Sande Lemos, F. Baena Preysler, J. Dantas Gistal C. Y Rocha G. *Actas del 3er Congreso de Arqueología Peninsular*. Vol X. Porto. 15-42

Tschan, A. (1999): An introduction to Object-Oriented GIS in Archaeology. . En Barceló J. ,Briz I., y Vila, A. (eds), *New Techniques for Old Times, CAA 1998*, BAR Int. Series 757, pp.303-316.

Van Leusen, P. (1995) "GIS and archaeological resource management: a European agenda" en Lock G. Stancic, Z. (eds) (1995): *Archaeology and Geographical Information Systems. A European perspective*. London taylor and Francis.

Wermeulen F. (2001): The potential of GIS, Proceedings of the Cost action G2, On the Good use of geographic Information Systems in Archaeological Landscape studies. European Commission, Luxemburgo, pp.9-16.