

## **TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA ARQUEOLÓGICA APLICADA A RECONSTRUCCIONES HISTÓRICAS EN EL EMIRATO DE SHARJAH (U.A.E.)**

Pof. Dra. M. Farjas Abadía - Pof. Doña T. Fernández Pareja - Pof. Dr. F. J. García Lázaro - Pof. Dr. A. Llanos Viña y colaboradores.

Universidad Politécnica De Madrid.

### **ANTECEDENTES.**

En Diciembre de 1995 el Dr. Joaquín Córdoba, catedrático del Departamento de Historia Antigua de la Universidad Autónoma de Madrid, Director del Proyecto Al- Madam, se dirigió a nuestro Departamento, ofreciendo la posibilidad de colaborar en su investigación aportando los conocimientos y técnicas de nuestra disciplina, y abriendo a las ciencias cartográfica un nuevo campo de estudio.

Miembros de nuestro Departamento se desplazaron a Sharjah, en Febrero de 1996, y tras evaluar las virtualidades reales del proyecto, se procedió a estudiar las necesidades topográficas y cartográficas de apoyo a la arqueología en el emplazamiento de Tuqueibah, iniciándose la toma de datos de campo contando con los siguientes objetivos básicos :

- Implantación de la red básica de los trabajos de levantamiento y control.
- Realizar tareas de documentación cartográficas que permitieran diseñar posteriores trabajos de investigación.

Como consecuencia de las conversaciones mantenidas con los responsables de arqueología del Emirato y muy especialmente con el Profesor Córdoba, se presentó al regreso, una solicitud de subvención a la Convocatoria de Ayudas I+D para Grupos Potencialmente Competitivos, con el proyecto denominado "*Topografía y Cartografía arqueológica aplicada a reconstrucciones históricas en el Emirato de Sharjah*", que fue aprobado y financiado por el Rectorado de la Universidad Politécnica de Madrid.

El equipo investigador está integrado por los miembros arriba citados, y a ellos se han unido otros miembros del Departamento (profesores y alumnos) para analizar e investigar las metodologías de representación de entornos de interés cultural, medio-ambiental o arqueológico. Se pretende obtener una línea de documentación que facilite las reconstrucciones históricas y la posterior divulgación de los resultados, en entornos museológicos y educativos.

Esencialmente se trata de integrar la capacidad actual de la tecnología topográfica y cartográfica en los procesos arqueológicos que se están desarrollando en el Emirato de Sharjah, para una adecuada comprensión, reconstrucción y exposición de la evolución cultural durante la Edad del Hierro en este contexto geográfico.

Los objetivos del Proyecto son los siguientes :

- **Utilización de las técnicas de cartografía digital como soporte de los resultados de las investigaciones de palinólogos, botánicos,**

**zooarqueólogos, geomorfólogos, historiadores y arqueólogos.**

**• Representación interactiva y animada de los fenómenos arqueológicos.**

Estos objetivos se desarrollan diferenciando tres líneas de investigación, considerando como variable la escala del producto final :

A.- Investigación en cartografía temática.

B.- Investigación en levantamientos a gran escala (1/200, 1/50, o similares).

C.- Investigación en cartografía de detalle aplicada a los elementos encontrados en yacimientos arqueológicos.

Las tres líneas citadas quedan enmarcadas dentro del enfoque que proporcionan las técnicas cartográficas más avanzadas y su divulgación a través de productos multimedia, y para ello se ha atendido al hecho de que los objetivos y situaciones arqueológicas tienen en común su escasez, su fragilidad e, incluso en el caso de excavaciones, su volatilidad. La elaboración y difusión de documentación gráfica en esta disciplina para registrar, inventariar, analizar y relacionar los sucesos, es una forma importante de descripción y comunicación dentro de la comunidad científica que se convierte en imprescindible en contextos educativos y de divulgación.

En este sentido, el encuentro de la arqueología con los problemas de representación espacial propios de los procesos y métodos cartográficos puede proporcionar experiencias ilustradoras en el doble aspecto del rigor métrico y de la correspondencia semiológica que constituyen la razón de ser de la cartografía. A pesar de la diferencia de tamaño de los objetos que afectan a una y otra materia, la aplicación de técnicas concebidas para la elaboración de mapas a representaciones planas en arqueología está ofreciendo un conjunto de potencialidades cuya teórica eficacia hace atractivos el análisis y experimentación.

La capacidad de los mapas para registrar fenómenos se está viendo actualmente muy enriquecida por la incorporación de tecnologías que afectan a la toma y proceso de datos, su almacenamiento y presentación. La idea de atlas como colección de mapas subyace en los proyectos cartográficos informatizados, aunque es diferente respecto al formato clásico la manera de presentar las series temáticas y temporales.

El atlas impreso necesariamente organiza su información como una secuencia rígida de cartas ; las búsquedas se efectúan a través de índices y la consulta resulta complicada cuanto mayor sea el volumen manejado. Es difícil yuxtaponer gráficos y en general cualquier operación de simultaneizar imágenes y datos numéricos, descriptivos o estadísticos.

La versión informatizada está supeditada al empleo de ordenador y permite agilizar la consulta y simplificar la reproducción aunque la resolución final de la presentación sobre monitor es normalmente inferior a la de los ejemplares encuadernados. Pero no son los atlas electrónicos o sobre papel los productos que ofrecen mayor interés a los procesos gráficos de arqueología, sino recientes desarrollos basados en concepciones tecnológicas más evolucionadas.

De una manera particular, la incidencia de los sistemas multimedia, como receptores de medios y formatos en los que se pueden registrar distintos aspectos de la información, parece que va a continuar incrementando la capacidad de representación tradicional en cartografía y de esta capacidad pueden beneficiarse otros tipos de documentos complejos, como los arqueológicos que nos ocupan.

Se dispone de la posibilidad de mostrar objetos en dos o tres dimensiones,

de reproducir situaciones dinámicas por medio de la animación, incluso de la simulación, para materializar una evolución nunca experimentada, y siempre articulando los distintos datos en mensajes integrados que podemos organizar en una estructura espacial unitaria de tipo cartográfico. El acceso a los contenidos a través de esta forma de planos es interactivo en estas aplicaciones de la tecnología a la redacción de mapas y se orienta a través del plano, la visión detallada de hechos singulares o la superposición de épocas y de temas, disponiendo de los gráficos, imágenes fijas o en movimiento, sonidos y textos empleados para describir cada caso.

Las líneas de investigación abiertas en torno a esta tecnología son :

- Definición y ensayo de atlas regionales y locales interactivos para presentar la situación, contexto geográfico, itinerarios de acceso y visiones monográficas de conjuntos y elementos de interés cultural con finalidades educativas y de divulgación.
- Análisis y experimentación de estructuras multimedia que, desde mapas y planos base, ofrezcan la posibilidad de integrar todo tipo de documentos referentes a objetos a escala urbana o inferior, y que incluyan la visita virtual al entorno e interior de los mismos.
- Trasladar esta experiencia a objetos mobiliarios de menor formato mostrando su ubicación original, su reconstrucción y una visión completa de los mismos.

Teniendo en cuenta este contexto general se procede a describir cada una de las líneas de investigación mencionadas.

#### **A.- INVESTIGACIÓN EN CARTOGRAFÍA TEMÁTICA.**

La investigación supone la obtención de una representación a escala 1/10.000 o menor, de la situación relativa de todos los yacimientos arqueológicos del Emirato de Sharjah. En este modelo aparecerán reflejados la situación de explotación del yacimiento, los equipos responsables de su excavación así como toda la información que los arqueólogos responsables consideren de interés.

Utilizando como soporte básico la cartografía proporcionada por el Departamento al que corresponda del Emirato de Sharjah, y sometiéndolo al proceso de generalización correspondiente, se ubicarán los yacimientos aplicando las técnicas y equipos más avanzados en sistemas de Posicionamiento Global, para los que se cuenta con la colaboración desinteresada de los mejores especialistas en estas tecnologías.

En esta fase de la investigación está prevista la realización de pruebas experimentales que permitan estudiar el comportamiento de los equipos topográficos y geodésicos.

A partir de este documento se elaborará un mapa turístico de itinerarios arqueológicos creando un prototipo de divulgación museológica multimedia.

Toda esta fase de investigación tiene prevista la toma de datos en campo y la

obtención de la documentación cartográfica básica que pueda ser proporcionada por la Dirección de Antigüedades del Emirato de Sharjah, en la campaña de campo de 1997 del Proyecto Al-Madam, dirigido por el Profesor Córdoba.

## **B.- INVESTIGACIÓN EN LEVANTAMIENTOS A GRAN ESCALA (1/200, 1/50, O SIMILARES).**

Una vez obtenida la representación cartográfica general de los yacimientos arqueológicos del Emirato se pretende introducir en el modelo una información más detallada de cada uno de ellos, creando una cartografía a escala 1/200 o 1/100, dependiendo de las dimensiones del entorno arqueológico, para finalmente detenerse en la escala usual por los especialistas en esta ciencia, es decir una escala 1/50, 1/20.

Esta fase de la investigación se está desarrollando en el trabajo **Topografía arqueológica. Obtención de la Cartografía a escala 1/100 del yacimiento arqueológico de Tuqueibah (Emirato de Sharjah)**, utilizando los datos obtenidos en la campaña de campo de 1996. Como resultado del mismo se cuenta con bases cartográficas digitales y representaciones 3D del entorno del yacimiento a escala 1/100 y de una de sus edificaciones a escala 1/20. Este trabajo analiza :

- La obtención de cartografía digital y modelos tridimensionales con software Microstation.
- Las posibilidades de incorporar los croquis arqueológicos a bases cartográficas digitales en escalas de trabajo 1/20.
- Las ventajas de este método frente a la utilización de bases cartográficas a escalas inferiores a 1/100, a las que se incorporasen por digitalización los croquis a escala 1/20 o 1/50, realizados por arqueólogos.
- El método de trabajo topográfico recomendado en equipos arqueológicos multidisciplinarios y la preparación de toda la documentación necesaria para aplicar esa metodología de forma experimental en la campaña de toma de datos de campo de 1997 en el yacimiento de Tuqueibah.

En la campaña de 1997 se aplicará la metodología recomendada en la obtención de la documentación cartográfica del resto de las edificaciones excavadas en el yacimiento de Tuqueibah, para obtener la representación 3D de las mismas, y crear modelos de anastilosis virtuales.

Otro objetivo específico a largo plazo, en esta línea de investigación consiste en realizar un estudio comparado de las distintas vías de programas que existen en la actualidad con esta finalidad, analizando las posibilidades de Microstation 95 y el programa Modeler en la obtención de representaciones realistas de sólidos rígidos, y por otra parte las posibilidades de Autocad, y los datos cartográficos creados en este entorno, introducidos en el programa 3D Studio.

Otro apartado de la investigación que se ocupa de las escalas medias aplicadas a la arqueología, es la obtención del **Modelo de integración de documentación arqueológica mediante técnicas de cartografía multimedia**.

El progreso de la infografía ha incidido de forma decisiva en la confección



de todo tipo de cartografía, desde los procesos manuales tradicionales hasta los procesos asistidos para edición interactiva o la gestión de datos espaciales -de tipo gráfico o alfanumérico- en los sistemas de información geográfica.

La posibilidad de aplicar las ventajas de los actuales programas de Hipermedia y Multimedia (imágenes animadas, hipertexto, interactividad, integración de datos de distinta naturaleza, entre otros) a la información cartográfica en el tratamiento de la documentación arqueológica, fue lo que motivó la realización de este proyecto.

La tecnología Multimedia permitirá integrar en un sólo documento la información perteneciente a distintos campos temáticos, posibilitando un uso global y/o particular de cada elemento de información.

La principal herramienta de autor disponible para Multimedia es el programa Macro-Mind Director, que permite la distribución de sus documentos entre las principales plataformas o sistemas operativos y asume su total compatibilidad con cualquiera de los formatos comunes.

Para adecuar los datos de partida (fotografías, croquis, planos, etc.) a un mismo entorno de trabajo, será necesario el uso de aplicaciones de generación de imágenes, entre ellas Adobe Photoshop, Adobe Premiere y Macro-Mind 3D.

Una vez analizadas las posibilidades que aporta dicha herramienta de autor, se ha propuesto realizar, a partir de las fuentes cartográficas existentes, un modelo de integración de documentación arqueológica mediante técnicas multimedia, con un contenido principalmente divulgativo donde el usuario pueda acceder a la información existente de forma interactiva, con la posibilidad de escoger entre varios idiomas.

La multidisciplinariedad aplicada al campo de la Arqueología ha puesto de manifiesto la necesidad de contar con bases cartográficas, soportes de toda la información de cada emplazamiento. Por otra parte, el aporte continuo de información, la puesta al día y la diversidad de fuentes dificultan la interpretación de resultados y hacen muy laboriosa la reconstrucción histórica.

Por todo esto, con este proyecto se propone la creación de un modelo de documentación arqueológica, botánica, zoológica, etc., imágenes y textos simples. Los objetivos específicos de esta línea de trabajo son :

- a) Estudiar las posibilidades de trabajo con datos espaciales que permiten las nuevas Tecnologías Multimedia aplicadas a bases cartográficas ya existentes.
- b) Definir un proyecto de desarrollo multimedia para su aplicación en el contexto de la Cartografía Arqueológica encaminada a la divulgación.
- c) Documentar en algún tipo de medio, si las circunstancias del yacimiento lo permiten, un proceso de excavación arqueológica.
- d) Integración de la excavación arqueológica en el proyecto Multimedia.

Esta investigación se aplica globalmente al yacimiento de Tuqueibah en el Emirato de Sharjah.

Se encuentra en fase de diseño una tercera dimensión de esta investigación, consistente en la elaboración de un **Sistema de Información Geográfico**, con fines arqueológicos, utilizando como soporte cartográfico el levantamiento a escala 1/200 de la excavación. Para ello se está trabajando de forma experimental en el yacimiento de Recopolis, situado en Zorita de los Canes.

Posteriormente, y a largo plazo, se pretende interrelacionar ambos modelos de sistemas de información (Multimedia y clásico) con el objetivo de establecer qué tipo de información arqueológica podría ser importada a un modelo Multimedia y cómo se realizaría la integración de ambos sistemas.

### **C.- INVESTIGACIÓN EN CARTOGRAFÍA DE DETALLE APLICADA A LOS ELEMENTOS ENCONTRADOS EN YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS.**

Finalmente, y analizada la cartografía a escalas 1/10.000 (A) y las escalas medias (B) se pretende integrar en la representación 3D de los yacimientos arqueológicos y en las simulaciones de apertura y excavación arqueológica, los distintos objetos que vayan apareciendo, teniendo en cuenta dos aspectos : referenciación geográfica de los mismos en el momento de su aparición, y en segundo lugar la obtención de un modelo 3D que pueda ser expuesto de forma aislada en el entorno museológico, o integrado en el conjunto del modelo interactivo.

La primera fase de estas tareas deberá realizarse in situ y para ello se está diseñando el modelo de datos de campo a tomar. El diseño se aplicará en el yacimiento 'I' uqueibah en la próxima campaña.

La segunda parte, es más compleja y obliga a aplicar, definir e investigar en las metodologías actuales de documentación y modelización de elementos mobiliarios y fragmentarios en yacimientos arqueológicos, mejorando los modelos y asegurando la precisión que se pretende mantener en todo el conjunto del trabajo.

#### **Documentación geométrica**

El método que se propone para la obtención de datos geométricos de tales elementos es la restitución fotogramétrica. Sin embargo, las cámaras calibradas habitualmente empleadas en esta técnica ( cámaras métricas ) pueden resultar poco flexibles, dada la gran variedad de distancias de enfoque que pueden presentarse, incluyendo algunas muy cortas y precisando siempre de grandes profundidades de campo. Disponer de una gama de cámaras métricas que cubriese todas las posibilidades sería difícil y obligaría en cualquier caso a una inversión considerable.

Por ello, se considera necesario adaptar una metodología fotogramétrica distinta de la convencional; en ella se utilizarían cámaras no específicamente fotogramétricas, lo que permitiría abordar con más flexibilidad los distintos casos que pueden presentarse, además de posibilitar el empleo de una amplia gama de materiales fotográficos. Ahora bien, por definición, los parámetros de calibración de una cámara no métrica son inestables, y deben determinarse individualmente para cada fotograma.

Existen diversos métodos que permiten la calibración , en fase de ejecución, de los fotogramas obtenidos con cámaras no métricas. Se ha elegido la Transformación Lineal Directa , por su sencillez y porque proporciona resultados suficientemente precisos siempre que se disponga de un mínimo de seis puntos de control por fotograma, determinados con suficiente precisión y bien distribuidos espacialmente, de tal modo que el poliedro que determinan tenga una dimensión significativa en la dirección del eje óptico de

la cámara, no debiendo ser inferior a la tercera parte de la distancia de enfoque.

Una vez efectuada la calibración de cada fotograma se podría llevar a cabo la restitución de los pares de fotogramas, por métodos numéricos y generando ficheros de tres dimensiones., que son el punto de partida para la posterior modelización del elemento.

## **Modelización**

Consta de dos fases: construcción de una superficie representativa del objeto, mediante elementos finitos, y asignación de texturas a dicha superficie. Para su caracterización pueden emplearse mallas cuadrangulares o triangulares, pero en general se preferirán estas últimas, por permitir densificar o rarificar los puntos adaptándose a la forma de las distintas partes del objeto.

Dichas superficies se construirán a partir de los datos obtenidos en la fase de restitución. Dado que la mayor parte de los programas modelizadores disponibles están adaptados a funciones topográficas y cartográficas, en muchos casos será necesario construir la porción de superficie correspondiente a cada par fotogramétrico en relación con el sistema de coordenadas que resulte más favorable, reunificando después todas las superficies parciales en un sistema de coordenadas común.

El proceso de modelización concluiría con la asignación de texturas representativas a cada parte del elemento, según los materiales que lo constituyan y su estado de conservación. La metodología de adquisición y tratamiento de datos que se propone consta de varias fases, que se resumen en la figura 1 .

Los elementos representados de este modo se integrarían en sistemas Multimedia (museos virtuales, etc), pudiendo también incluirse en la representación, mediante Cartografía digital o mediante Sistemas de Información Geográfica, del yacimiento en que fueron hallados. A este respecto, es necesario registrar, con la precisión que se requiera, la posición y la orientación espacial del objeto en el momento de su hallazgo, a fin de poder transformar el sistema de coordenadas particular del modelo del objeto al sistema general del yacimiento.

Las líneas de investigación abiertas a propósito de esta metodología son las siguientes :

- Posibilidad de determinación de los puntos de control necesarios con precisiones mejores que 1 mm trabajando en redes de lados comprendidos entre 1,5 m y 5 m, empleando equipos de topografía ordinarios. Se está trabajando con redes observadas con teodolito de 1<sup>cc</sup> y calculadas mediante de ajuste espacial de haces.
- Posibilidad de emplear estructuras desmontables provistas de puntos preseñalizados y de posiciones relativas conocidas como sistema de puntos de control, a fin de agilizar la fase de toma de datos en campo. Construcción y estudio de la estabilidad dimensional de una estructura de ese tipo, de 50 cm x 50 cm x 70 cm, aplicable a un elevado porcentaje de elementos mobiliarios y fragmentos.

- Posibilidad de restituciones fotogramétricas de los fotogramas así calibrados con precisiones del orden de 1 mm. Se está llevando a cabo una prueba del proceso completo sobre un capitel del siglo XII.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- APPLE COMPUTER, Inc. (1992) : Macintosh Human Interface Guidelines,. Addison-Wesley Publishing Company.
- BOPP, H. y KRAUSS, H. (1978) : "An Orientation and Calibration Method for Non-Topographic Applications". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 44 (9), 1191-1196.
- CHADWICK, C.B. (1992) : Tecnología educacional para el docente. Ed. Paidós, Colección Paidós Educador, Barcelona.
- CORDOBA, J.M. ; MOUTON, M. (1995) : "La cultura del Hierro en la Península de Omán. Excavaciones hispano-francesas en el Emirato de Sharjah". *Revista de Arqueología*. N-169. Mayo. Zugarto Ediciones S.A., Madrid.
- FIDALGO, A. (1993) : "Multimedia para la formación y la productividad, Objetos versus objetivos". 1er. Congreso Mundial de multimedia, Sitges, Barcelona, Octubre.
- HONEY, P ; MUMFORD, A (ed.) (1986) : Using our Learning Styles. Berkshire, U.K. : Peter Honey.
- LLANOS VIÑA, A. ; GARCIA LAZARO, F.J. (1980) : "Levantamiento fotogramétrico del Techo de la Sala de las Pinturas de la Cueva de Altamira". *Técnica Topografica*. VIII, (33), 24-46.



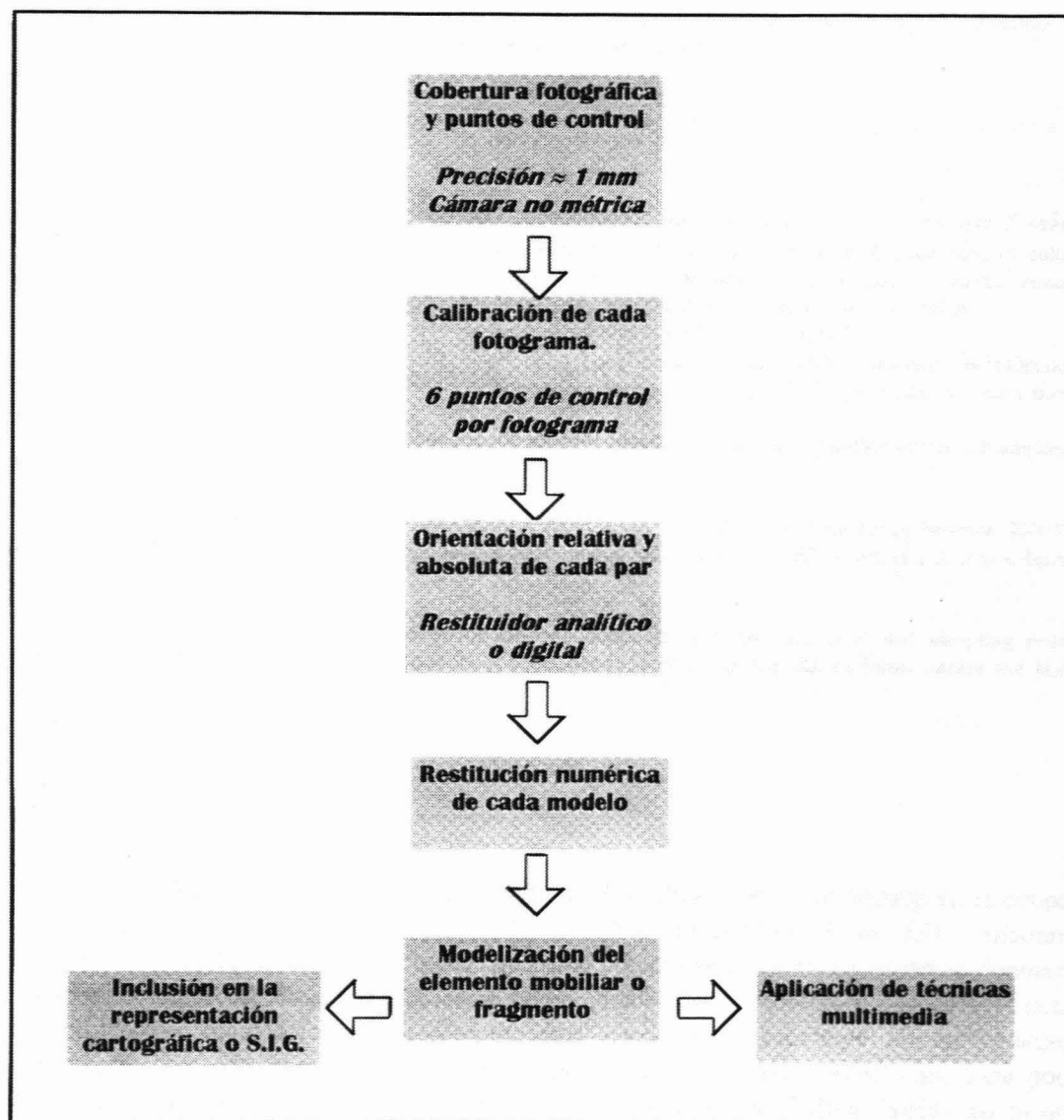


Figura 1. Secuencia de operaciones en la documentación y modelización de elementos arqueológicos.