

Sistema de información del Conjunto Arqueológico de Carmona. Sevilla. España.

Alejandro Jiménez Hernández¹, José Manuel López Sánchez² e Ignacio Rodríguez Temiño³

¹Arqueólogo. Sevilla. España.

²TCA Geomática S.A. Granada. España.

³Conjunto Arqueológico de Carmona. Consejería de Cultura. Junta de Andalucía. España.

Resumen

El Conjunto Arqueológico de Carmona se encuentra realizando un proyecto de investigación, recopilación y mecanización y nueva elaboración de toda la documentación gráfica en torno al yacimiento arqueológico. La información anterior existente se encontraba en soportes y sistemas poco accesibles para los investigadores. Por tanto los trabajos realizados han consistido fundamentalmente en digitalización de la información gráfica existente, formación de una infraestructura topográfica sobre la que se han apoyado todos los procesos de georreferenciación y el levantamiento de todos los elementos que componen el yacimiento, anfiteatro, tumbas y rasgos arqueológicos por sistemas de registro tridimensional, escáner 3d, topografía de detalle y fotogrametría terrestre y aérea. En este momento el proyecto se encuentra en la fase de salidas gráficas y modelado 3d de la información resultante.

Como resultado de los trabajos, el proyecto debe culminar con la creación de un sistema de información que aglutine toda la información existente y procesada, y la que se vaya generando en el futuro; tanto para su difusión web, como para el consumo interno por parte de investigadores y gestores del Yacimiento. Al mismo tiempo se pretende realizar la explotación en sistemas virtuales que permitan su estudio sin necesidad del acceso directo al yacimiento y su difusión mediante infografías.

Palabras clave: ESCANEAO 3D, RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL, ARCHEOMATICA.

1. Conjunto Arqueológico de Carmona: Punto de Partida

El Conjunto Arqueológico de Carmona está próximo a cumplir sus 125 primeros años abierto al público, resultado de un proyecto pionero dedicado a la investigación y valorización del patrimonio arqueológico. Descubiertas las primeras tumbas a finales de los años 70 del siglo XIX, fue a partir de 1884, con la compra de los terrenos por G. E. Bonsor y Juan Fernández López, cuando comienzan los trabajos arqueológicos con una finalidad científica y didáctica que culmina en 1885 con su apertura al público. En los primeros años tras su descubrimiento fue objeto de una intensa actividad de excavaciones arqueológicas en las que se exhumaron unas 800 tumbas y que culminó con el descubrimiento del anfiteatro de la antigua *Carmona*. Los resultados de esta frenética actividad excavadora están patentes en el extenso repertorio de estructuras funerarias de las que 225 son tumbas hipogeas y el extraordinario anfiteatro encuadradas en el recinto visitable del CAC.

La reciente elaboración del documento de avance del Plan Director del Conjunto Arqueológico de Carmona ha permitido obtener un preciso diagnóstico de la situación actual en los aspectos relativos a la conservación, en la investigación, en la visita y difusión de contenidos y en la documentación. Con respecto a la conservación, los resultados de esta prospección muestran la necesidad de una actuación urgente para revertir los graves procesos de deterioro que sufre una parte importante de los complejos funerarios tutelados por el conjunto arqueológico, por lo que la responsabilidad de preservar la integridad de los restos arqueológicos se ha convertido en el objetivo principal del Plan Director. Ámbito en el que ya se viene trabajando a través

de un convenio con el CSIC. Para dar respuesta a este diagnóstico tan negativo es necesario adoptar medidas que van a tener un gran impacto sobre la fisonomía actual del recinto, sobre la oferta de espacios visitables, sobre el recorrido y sobre la manera de acceder a los complejos funerarios.



Figura 1. Vista general de CAC.

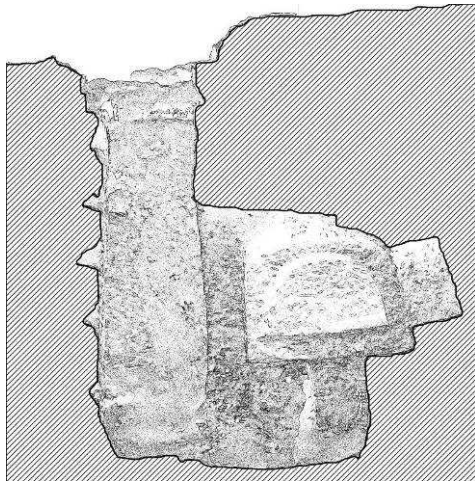


Figura 2. Sección longitudinal complejo funerario d4b804

Tampoco es halagüeño el diagnóstico sobre la investigación. La información científica acerca del CAC ha sido masivamente generada en los primeros años de vida del recinto, derivada de los trabajos de sus fundadores con unos principios teóricos, metodológicos y técnicos difícilmente homologables a las exigencias científicas de hoy. Esta información no ha sido convenientemente revisada y actualizada desde 1976, fecha de la última obra general sobre el CAC. Si la investigación necesita de un nuevo impulso de reactivación y revisión, la documentación generada por la larga vida del CAC se presenta como un conjunto muy diverso en formatos, en tipo de documentos y disperso en diversos archivos. A este respecto la dirección del CAC ha iniciado varios proyectos de recopilación de datos documentales que han permitido recabar gran parte de la documentación derivada de los trabajos de G. E. Bonsor y la Sociedad Arqueológica de Carmona. Por todo ello, es objetivo prioritario en el Plan Director la elaboración de un Proyecto de Documentación cuya principal herramienta es el Sistema de Información del Conjunto Arqueológico de Carmona

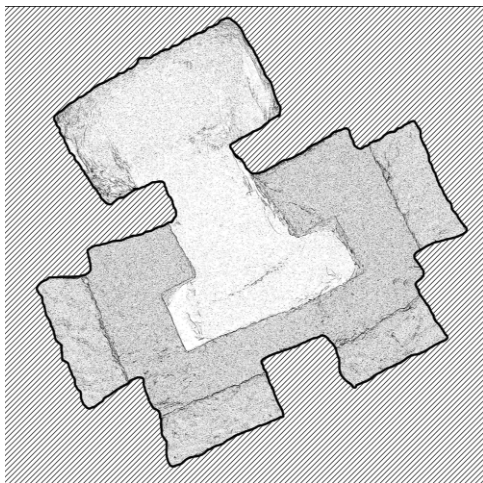


Figura 3. Sección longitudinal Complejo Funerario d4b804

2. Sistema de Información del Conjunto Arqueológico de Carmona

El objeto del sistema de información del CAC es organizar toda la información gráfica y alfanumérica en un mismo entorno garantizando la integración, disponibilidad, calidad, y accesibilidad de toda la documentación generada por el Conjunto Arqueológico georreferenciada a partir de los complejos funerarios y edificios que componen el recinto.

Surge, además, de la responsabilidad de obtener una documentación gráfica precisa de todas las estructuras arqueológicas existentes en el CAC, que refleje su estado actual ante los problemas de conservación que presentan una parte importante de las estructuras funerarias. Estado de conservación que obligará a adoptar actuaciones encaminadas a la preservación y consolidación de las mismas, lo cual alterará sustancialmente su estado actual. La documentación gráfica y textual muy numerosa, diversa en formatos y dispersa en distintos archivos, corre el riesgo de perderse por lo que es imperativa su digitalización e integración en un sistema único.

La información integrada en el sistema va a elaborarse mediante tres criterios primarios: la exhaustividad, rigurosidad y objetividad.

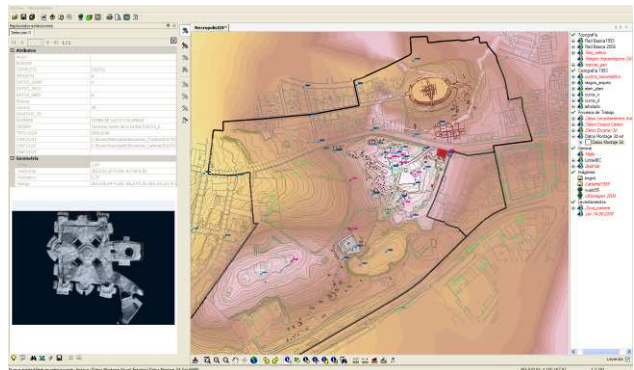


Figura 4. Vista de aplicación Sistema de Información

En primer lugar, la recopilación de información debe ser generalizada y exhaustiva procurando agotar las posibles fuentes de datos para minimizar el riesgo de pérdida de información. En el caso de la información gráfica y planimétrica de los complejos funerarios mediante escáner 3D se realizará de la totalidad de las mismas independientemente de su estado de conservación o de su representatividad dentro del conjunto.

El rigor nos obliga a establecer unos protocolos estrictos en la recopilación y procesado de datos que garantice la calidad de los mismos. En cuanto a la representación gráfica mediante escáner 3D, la resolución va a ser suficiente no sólo para el objetivo primario de obtener una representación gráfica convencional del complejo edilicio, sino también suficiente para poder sustituir la visita o el trabajo de investigación del modelo original por el modelo virtual.

La objetividad es una necesidad en el registro de la información principalmente gráfica y planimétrica donde existe una gran carga interpretativa que distorsiona la representación de la realidad que se ofrece a investigadores externos al CAC.

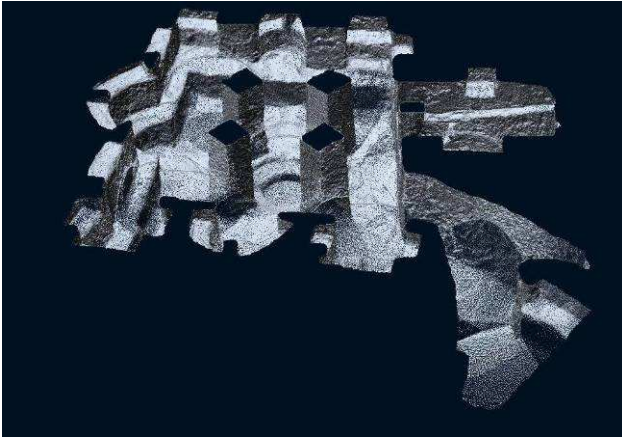


Figura 5. Axonometría Complejo Funerario IV Columnas

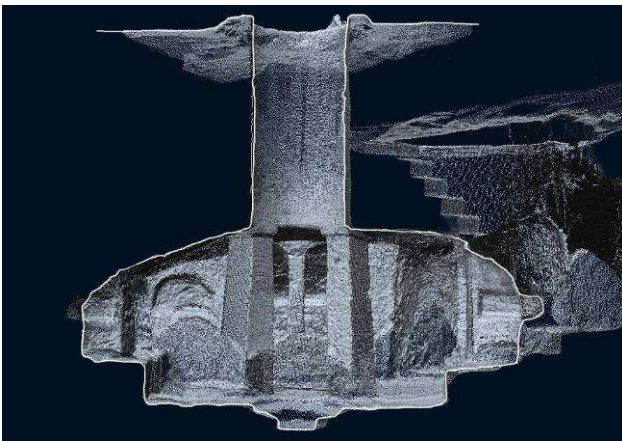


Figura 6. Sección longitudinal Complejo Funerario IV Columnas

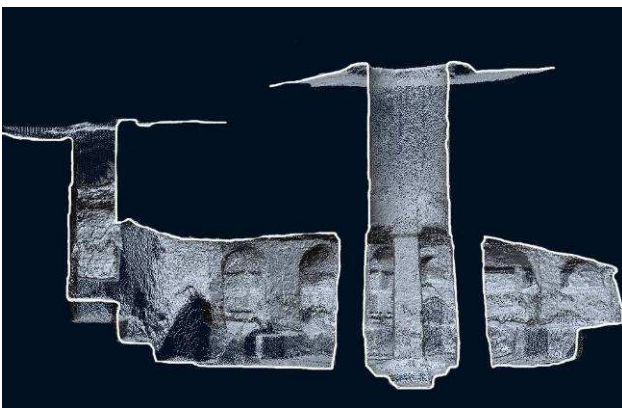


Figura 7. Sección transversal Complejo Funerario IV Columnas

Los objetivos que pretende cubrir el sistema son: recopilar, conservar, integrar y facilitar el uso conjunto de diversas fuentes de información y garantizar la disponibilidad de la misma a investigadores de una manera presencial o telemática.

2.1. La base.

Todo sistema de información necesita de una estructura geodésica adecuada donde georeferenciar de una manera precisa y homogénea todas la información disponible. Es por ello que desde el inicio de los trabajos se ha diseñado un sistema compuesto por un sistema Geodésico y una Red Básica Topográfica, donde apoyar la totalidad de trabajos a desarrollar sobre el Conjunto.

2.1.1. Definición geodésica de los trabajos

Dado que el inicio de los trabajos topográficos fueron en el año 1993, se adoptó el Sistema Geodésico oficial de España en ese momento, es decir Sistema de Referencia ED-50, con Elipsoide de referencia Internacional de Hayford con Datum Postdam, tomando como origen de Latitudes el Ecuador y para las Longitudes el Meridiano de Greenwich, Marco Geodésico el RE-50, proyección cartográfica la Universal Transversal de Mercator (UTM) en el Huso 30 y como origen de altitudes, se ha considerado el nivel medio del mar en Alicante, así definido y considerado por el IGN mediante las Redes de Nivelación.

No obstante y dado el cambio de Sistema Geodésico Oficial de España en el año 2007, se están definiendo los parámetros necesarios de conversión de toda la documentación geográfica para adaptarla al Nuevo Sistema Geodésico de Referencia (REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España Sistema Geodésico Oficial de España).

2.1.2. Infraestructura topográfica. Red Básica.

Se ha establecido una infraestructura topográfica precisa, extendida por todo el conjunto arqueológico y enlazada la Red Geodésica Nacional, que nos va a permitir sustentar el resto de trabajos, tanto de este proyecto como los que se produzcan en el futuro.

2.2. Criterios de Referenciación.

Para la nominación de las estructuras se ha diseñado un sistema de Referencia Plano que consiste en numerar una cuadrícula de 8 casillas por 8 casillas con una dimensión de casilla de 100x100m, que a su vez se divide en pequeñas cuadrículas de 10x10m.

La referencia de plano por tanto se forma en base a una clave alfanumérica constituida por tres grupos de combinaciones de letra y número con los siguientes criterios:

- **Primer grupo:** Una letra y un número que identifican la X e Y de la cuadrícula hectométrica en la que se sitúa la hoja numerado como en un tablero de ajedrez. Se sitúan primero el correspondiente a la X y después la Y.

- **Segundo grupo:** Una letra y un número que identifican la cuadrícula decamétrica que contiene la hoja. Se sitúan primero el correspondiente a la X y después la Y.
- **Tercer grupo:** Un número que identifica las estructuras se numeran en el sentido de agujas del reloj.

2.3. Elementos

Se describen en este apartado los bloques de información que componen la información recabada e incluida en el Sistema de Información:

2.3.1. Información Documental.

- Bases de datos.
- Planimetría ráster histórica.
- Fondos fotográficos.
- Vaciado de archivos.

2.3.2. Información Geográfica

- Red básica Topográfica
- Ortofotografías: Históricas y actuales.
- Cartografía Topométrico año 1993. Radiación de puntos por taquimetría
- Levantamiento de estructuras mediante escáner 3D.
- Modelo Digital del Terreno.

Se ha realizado recientemente un Modelo Digital del Terreno (MDT, así como Superficial [MDS]) en base a la conjugación de los datos obtenidos por métodos topográficos tomados en el año 1993 y la obtención de una malla rectangular de puntos obtenidos por correlación fotogramétrica realizada a partir de un vuelo realizado en marzo de 2009 y con una resolución de 3 cm/píxel.

3. Levantamiento de estructuras mediante escáner 3D

La motivación que originó el escaneado masivo de los 225 complejos funerarios y de 127 estructuras superficiales de la Necrópolis era la obtención de planimetría básica (plantas y secciones), ya que hasta la fecha sólo se contaba con algunas plantas y secciones de las principales tumbas, realizadas por su descubridor (G. E. Bonsor), corregidas en algún caso por M. Bendala en su publicación sobre esta necrópolis.

La elección de este sistema fue analizado con la dirección del conjunto y fue aceptado por varias razones:

- Gran rapidez de la toma de datos.
- Intervención indirecta en el objeto.
- Posibilidad de obtención de secciones y plantas por cualquier plano de objeto.
- Gran volumen de información que permitiría el análisis posterior de la información de una manera objetiva y sin interpretaciones.
- Posibilidad de explotar la información como difusión de información.



Figura 8. Planta Complejo Funerario IV Columnas

Hay que tener en cuenta que un levantamiento realizado por métodos tradicionales (topográficos o fotogramétricos), no deja de tener una componente de interpretación de la realidad, realizada por una persona especialista y por tanto sujeto a deficiencias que pueden llevar a los investigadores a conclusiones erróneas. En el caso que nos ocupa este tema se agrava en la medida que los elementos a representar no tienen una geometría de aristas que permitirían una representación más aséptica y por tanto más objetiva.

Al margen del principal objetivo y a medida que el proyecto ha ido materializándose han surgido unas necesidades basadas en las propias cualidades aportadas por el sistema utilizado y que ayudan notablemente a la hora del mantenimiento yacimiento; concretamente para los complejos funerarios y demás estructuras existentes en el Conjunto Arqueológico de la Necrópolis de Carmona se hace más evidente la obtención de una información fiel, replica de la anterior, debido a la calidad de los elementos y sobre todo al grado de deterioro que están sufriendo por las inclemencias del tiempo. La nube de puntos obtenida se convierte en la mejor herramienta para la preservación del yacimiento.

Por tanto el uso de la tecnología escáner 3d se ha convertido en una alternativa complementaria a las técnicas tradicionales de levantamiento y muy aconsejada a la hora de abordar la complejidad que presentan las estructuras existentes en el Conjunto y su fisonomía.

Las fases definidas en el proyecto son las siguientes:

- **Anteproyecto**
- **Toma de datos**
- **Procesado de los datos**
- **Obtención de levantamientos**

3.1 Anteproyecto

La toma de datos se ha realizado utilizando un escáner adecuado a los objetivos del proyecto y las dimensiones de los elementos a representar. En nuestro caso ha sido elegido el escáner DeltaSphere de 3RdTech por su gran versatilidad. Las características de captura han sido las siguientes:

- Rango: 0.3 m – 16 m
- Adquisición de datos: 24,000 puntos por segundo.
- Ángulo horizontal: 360 °
- Ángulo vertical: 290 °
- Previamente a la realización de los estacionamientos, éstos han sido planificados con la idea de garantizar el máximo recubrimiento. Las oclusiones en el modelo se han reducido enormemente gracias a esta planificación previa.

3.2. Toma de datos

La toma de datos han sido realizadas por barridos completos de 360° en todos los casos exceptuando las tomas exteriores a cada complejo estructural. Ha sido necesario realizar barridos a distinta altura, para conseguir el recubrimiento de la totalidad de la estructura.

Para evitar en lo posible la aparición en el barrido, de elementos y aparatos utilizados para el proceso de trabajo, se ha acondicionado todo en el exterior de cada estructura, de tal manera que operarios y equipos (ordenador, mesa, etc) se han mantenido fuera del alcance del laser escáner.

Con la idea de dotar de luz a la tumba, se diseñó un sistema de iluminación adosado al propio escáner y que giraba con el mismo.

3.3. Procesado de datos

Toda la información tridimensional recogida es procesada hasta conseguir, unir las distintas escenas que conforman la unidad estructural, depurar los errores, y eliminar aquella información redundante no necesaria. Las fases utilizadas han sido las siguientes:

- **Orientación de las escenas:** Antes de cualquier proceso de depuración, las distintas escenas han sido orientadas con el Software Scene Vision entre sí en un sistema de coordenadas local.
- **Limpieza:** Una vez que han sido orientadas las distintas escenas entre sí y antes de fusionarlas, ha sido eliminada toda aquella información que no pertenece al objeto de estudio.
- **Fusionado de la información:** Este proceso se realiza de manera semi-automático, por correlación entre puntos comunes a las diferentes escenas hasta conseguir un error subcentimétrico.

- **Optimización del modelo: creación de un modelo homogéneo.** Filtrado previo de la información dependiendo de la calidad del punto y con el objetivo de alcanzar la resolución de 0,5 cm. y reducir información donde la superficie del objeto lo permita.
- **Georreferenciación de la información:** Una vez terminado en su totalidad los procesos anteriores, el modelo unificado resultante ha sido georreferenciado en coordenadas absolutas, utilizando al menos 4 puntos radiados desde la red topográfica del conjunto, con la idea sumarlo al MDS general generado a partir del vuelo Fotogramétrico.

3.4. Explotación de la información. Levantamientos

El modelo resultante de las fases anteriores dispone de las características necesarias para la extracción de secciones del objeto, así como el análisis del elemento de una manera virtual y generar las visualizaciones necesarias para una mejor comprensión del objeto.

Hemos rehusado la utilización de triangulación de la nube de puntos porque entendemos que no aporta más información y sin embargo complica enormemente el proceso.

Con base en esta nube de puntos se han extraído las secciones que definen cada estructura, intentando conservar la estética propia de un dibujo arqueológico convencional y riguroso.

Por cada tumba se ha generado al menos la siguiente información:

- Planos de planta y secciones significativas.
- Modelo de nube de puntos en 3d para su explotación por investigadores.

4. La aplicación informática

La aplicación informática que gestionará la documentación integrada en el sistema es el SIGCAC. El uso de esta aplicación no deja de ser una herramienta de trabajo, complementaria a los sistemas que están elaborando los distintos departamentos dependientes de la Junta de Andalucía (IDEA, Mosaico, etc.). Toda la información capturada y generada ha sido procesada por distintas aplicaciones dependiendo del tipo de información que se trate; no obstante como Software integrado para la consulta y gestión de la información TCA ha aportado al proyecto una aplicación propia denominada TCMaPEngine, que se fundamenta en las siguientes tecnologías:

- Desarrollo íntegro en entorno .NET, que implica capacidad multi-plataforma.
- Arquitectura SOA (Service Oriented Architecture), orientada a servicios que permite el acceso de cualquier aplicación a la información corporativa.
- Componentes programables SDK (Software Development Kit), que permiten al usuario final programar aplicaciones que satisfagan sus necesidades específicas.
- No dependiente de formato propietario.

- Para su desarrollo se ha empleado tecnología de gráficos OpenGL, que permite visualizar y navegar en 3D información vectorial y ráster.
- Dispone de herramientas de importación y exportación, definición de temáticos, etiquetado, selección espacial, búsqueda alfanumérica y geoprocésamiento.

Las principales características de la aplicación son las siguientes:

- Visualización y navegación 3D de ficheros georreferenciados con información vectorial (Shapefile, Geodatabase Personal de ESRI, 3ds, ArcSDE, DXF, DGN, DWG) y ráster (MDT, DEM, GRID, TIFF, JPEG, BMP, GIF, PNG) al mismo tiempo.
- Definición de vistas temáticas de usuario y etiquetado de entidades..
- Selección espacial y búsqueda alfanumérica de elementos. .
- Herramienta de definición y carga de modelos geográficos (GeoModelProcessor) para analizar la información, generar topologías o efectuar tareas de control de calidad

Conclusiones

El desarrollo del sistema de información del Conjunto Arqueológico de Carmona SIGCAC supone un punto de inflexión en la trayectoria de la gestión de la institución. En primer lugar, garantizará la recopilación y salvaguarda de la

información textual y gráfica antigua dispersa en distintos archivos y soportes para su integración en un sistema único que permita su rápida consulta e interrelación de los datos. Será el culmen de un gran esfuerzo de garantizar una representación gráfica rigurosa y objetiva de todas las estructuras y complejos funerarios en un formato que permitirá su representación gráfica según los procedimientos clásicos y su copia virtual que facilitará la investigación y visita no presencial de las tumbas. El sistema será el punto de partida para una nueva forma de actuar en el conjunto. Más allá de la simple gestión y administración del recinto, se va a pasar a una etapa más activa tanto en la conservación y restauración de los complejos edificios, en la investigación, que necesita una actualización de los conocimientos actuales e iniciar nuevos proyectos, y en la difusión con la renovación de los mensajes y de los medios didácticos en los que la virtualidad va a tener un papel relevante.

La vocación del sistema es la de facilitar a los investigadores una información objetiva, extensa y completa que permita el desarrollo de investigaciones arqueológicas a partir de los datos facilitados por el CAC. Por ello, se pretende culminar el desarrollo de la gestión de la información con la creación de una IDE o, en su defecto, en la integración en una IDE general que permita exponer la información al alcance de cualquier investigador.