

12 AÑOS DE REGISTRO DIGITAL DE DATOS ARQUEOLÓGICOS EN LA CATEDRAL DE SANTA MARÍA DE VITORIA-GASTEIZ (1997-2009)

12 years of archaeological data digital registry at the Santa Maria cathedral of
Vitoria-Gasteiz (1997-2009)

IÑAKI KOROSO ARRIAGA* y ÓSCAR MUÑOZ LOZANO*

RESUMEN La Fundación Catedral Santa María es la encargada de la restauración de la Catedral de Santa María de Vitoria-Gasteiz. A lo largo de últimos 12 años se ha utilizado sistemáticamente la disciplina de la arqueología de la arquitectura para interpretar el monumento. Para la documentación geométrica del monumento y de los restos arqueológicos se ha realizado un modelo tridimensional mediante fotogrametría terrestre de objeto cercano, ya que posibilita un registro geoméricamente preciso y nos permite una reconstrucción visual en 3 dimensiones. Respecto a las características gráficas y alfanuméricas de la unidad mínima de estudio, denominada Unidad Estratigráfica, se diseñó una base de datos relacional que gestiona toda la información asociada. La gestión de todos estos datos se ha realizado mediante un sistema de información geográfica aplicado al monumento que hemos denominado Sistema de Información del Monumento (SIM).

Palabras clave: GIS, Base de datos, Fotogrametría, Arqueología, Digital, Estereoscopia, Patrimonio, Catedral

ABSTRACT The Santa Maria Cathedral Foundation is responsible for the restoration of Santa Maria Cathedral of Vitoria-Gasteiz. The concept of archaeology of architecture has been applied systematically during the last 12 years while interpreting the monument. In order to geometrically document the monument's elevations and excavations, a three-dimensional model has been created using close range photogrammetry, because it allows geometrically precise data to be registered and a visual reconstruction in three dimensions to be obtained. As regards the visual and alphanumeric characteristics of each minimum study unit (known as the Stratigraphic Unit), a relational database was designed to interrelate and efficiently manage all the information. The management of all this data has been carried out by a geographical information system applied to the monument which we have called Monument Information System (SIM).

Key words: GIS, Database, Photogrammetry, Archaeology, Digital, Stereoscopy, Heritage, Cathedral.

* Fundación Catedral Santa María. c\Cuchillería, 95, 01001 Vitoria-Gasteiz (Álava) Tel.\Fax +34945122160.email: atecnica@catedralvitoria.com web: www.catedralvitoria.com

Fecha de recepción: 15-10-10. Fecha de aceptación: 20-01-11

1. INTRODUCCIÓN

La Fundación Catedral Santa María es la encargada desde el año 1999 de la restauración de la Catedral de Santa María de Vitoria-Gasteiz. Previamente a su restauración se realizó un Plan Director de Restauración Integral en el que participaron más de 25 equipos de trabajo y que recibió el premio Europa Nostra en estudios arquitectónicos en el año 2002. Por un lado el enfoque arquitectónico se encarga de los aspectos constructivos, funcionales y formales y por otro el enfoque histórico analiza el monumento como un contenedor de siglos de historia que debe ser interpretado.

A lo largo de los últimos 12 años el Grupo de Investigación en Patrimonio Construido de la Universidad del País Vasco (GPAC, UPV-EHU) ha utilizado sistemáticamente la disciplina de la arqueología de la arquitectura para interpretar todos los restos materiales del monumento, tanto los pertenecientes a las fábricas actuales de la catedral como al resto de estructuras, objetos y materiales aparecidos en las diferentes campañas de excavaciones realizadas.

2. DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA

La investigación arqueológica realizada tiene como objeto de estudio el sistema catedral, que incluye tanto el monumento como el subsuelo de la misma. La compleja distribución espacial de los diferentes elementos a representar requiere la aplicación de técnicas precisas para su representación geométrica.

2.1. Modelo 3D del monumento

Para la representación geométrica de los alzados del monumento se ha creado un modelo tridimensional de todos los elementos que componen la catedral. Ha sido realizado utilizando la técnica de fotogrametría de objeto cercano ya que esta técnica nos permite documentar geoméricamente con precisión y también realizar la reconstrucción visual en tres dimensiones gracias a las propiedades estereoscópicas de cada par de fotografías (fig. 1).

Para la realización del modelo geométrico se dividió la catedral en elementos constructivos basados en los estudios clásicos sobre las técnicas de construcción gótica. De esta forma podemos entender el edificio desde su materialidad constructiva en vez de hacerlo sobre su imagen arquitectónica o en su teórica linealidad estructural.

La gestión de todo el modelo fue una tarea complicada teniendo en cuenta las características de los ordenadores utilizados en los años 1996-98. Para ello se asignó un archivo a cada elemento constructivo y este archivo estaba representado por una línea en un plano guía que representaba a la catedral. El modelo contenía 859 archivos para el interior y 357 para el exterior (Azkarate *et al.*, 2001:86-105).

Posteriormente, en el año 2003, se reorganizó el modelo en función de su ubicación en la catedral, simplificando la gestión del modelo. Actualmente el modelo cuenta con 46 archivos en su interior y 21 en el exterior.

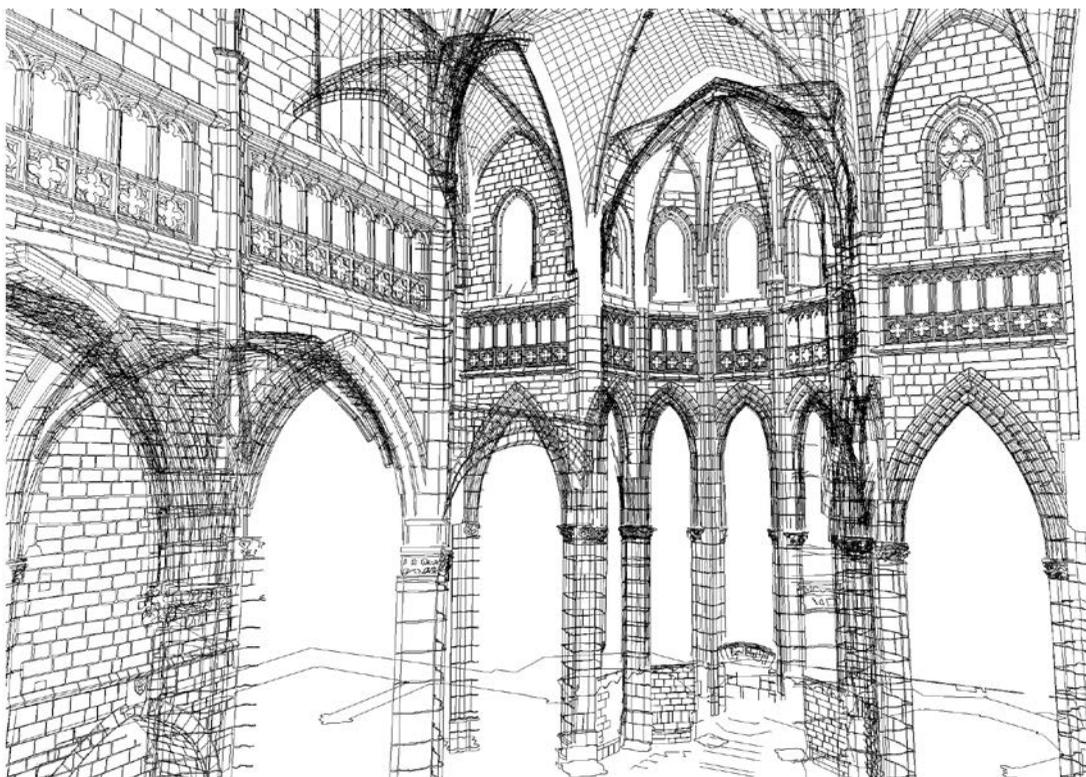


Fig. 1.—Vista del modelo tridimensional de los muros interiores de la catedral.

Se han realizado alrededor de 1.600 pares fotogramétricos para crear el modelo 3D de los muros de la catedral. Dicho modelo consta de más de 500.000 entidades CAD.

2.2. Documentación geométrica de las excavaciones

Cuando se realizan excavaciones por campañas en espacios complejos como puede ser la Catedral de Santa María y su entorno (fig. 2), la precisión en la determinación espacial de los diferentes elementos que conforman la excavación adquiere una importancia extraordinaria. En un subsuelo tan rico en construcciones y enterramientos como ha sido el de la catedral el grado de precisión de la documentación geométrica ha permitido relacionar entre sí direcciones de enterramientos, muros de construcciones y otros elementos sin relación visual, aportando luz sobre la evolución histórico-construktiva del edificio (fig. 3).

La aplicación de la fotogrametría a las excavaciones arqueológicas cumple un doble objetivo. Por un lado permite obtener una información geométrica de calidad y por otro ofrece la posibilidad de volver a revisar visualmente la excavación a partir del modelo estereoscópico generado en la realización del par fotogramétrico. Sin embargo



Fig. 2.—Cronología de las campañas de excavaciones realizadas en la catedral según año de comienzo.

la aplicación sistemática de esta técnica tiene una serie de costes tanto en presupuesto como en tiempo. Teniendo en cuenta estos factores, en las excavaciones realizadas en los últimos 12 años en la Catedral de Santa María el registro fotogramétrico se ha complementado con la toma de datos por topografía clásica. La relación entre ambas técnicas de registro ha ido evolucionando a lo largo de las diferentes campañas de excavaciones en función de la evolución de los medios de registro y gestión de la información y de las evaluaciones sobre el método de trabajo realizadas tras la conclusión de las excavaciones de cada sector.

2.2.1. *Girola y tramo de la nave, 1997-1998*

En la primera campaña realizada en los años 1997-98 la fotogrametría aplicada a las excavaciones era una técnica novedosa que se había aplicado en las excavaciones de Santa María de Melque (Toledo, España) dirigidas por Luis Caballero Zoreda (Caballero *et al.*, 1996:14-25) y que poseía un enorme potencial. La fotogrametría se aplicó a la documentación de los planos de periodo previamente estimados y se utilizó

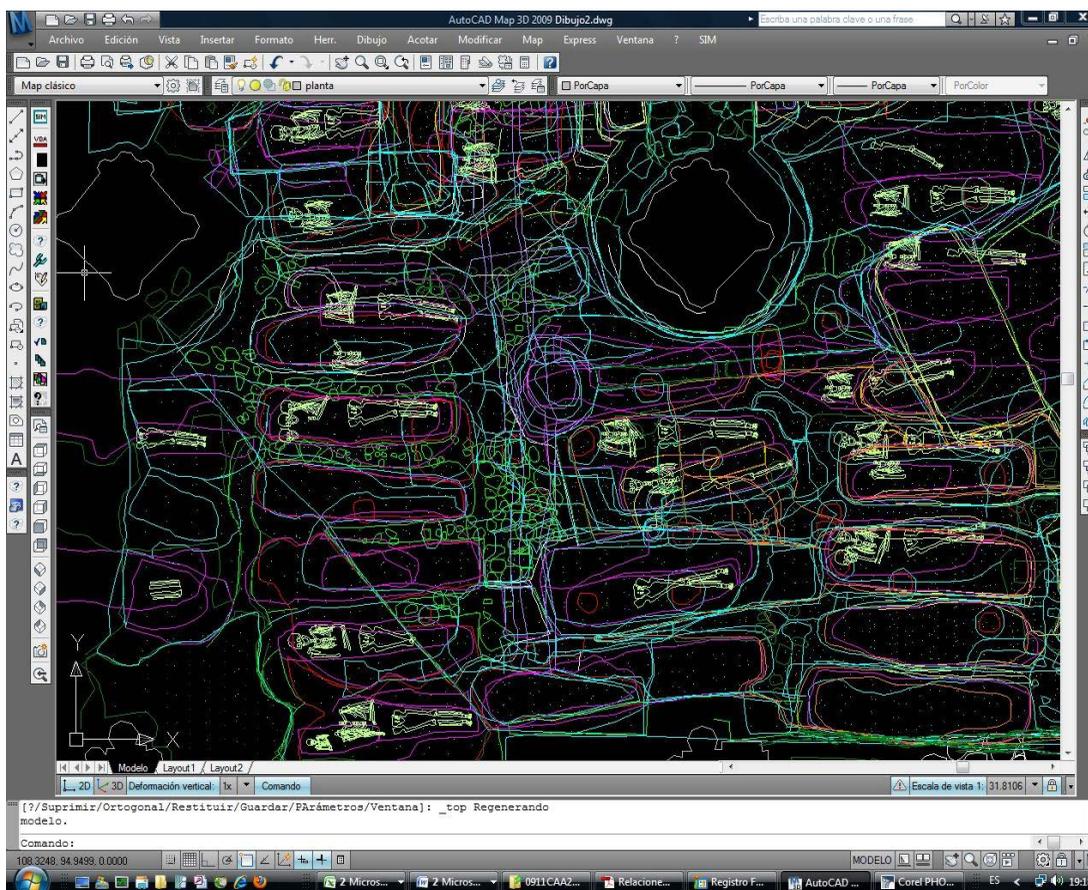


Fig 3.—Representación geométrica de las excavaciones.

la topografía clásica y los dibujos métricos realizados por los arqueólogos para el resto de unidades estratigráficas. En aquel momento no se utilizaba la fotografía digital y los equipos topográficos que se disponían apenas podían registrar las lecturas realizadas. La tarea de tomar datos topográficos requería una importante dedicación y se decidió documentar fotogramétricamente las unidades estratigráficas referidas a los planos de periodo (estimados en la excavación y por tanto provisionales). El resto de elementos se georreferencian mediante el dibujo arqueológico y para las determinación de cotas se utilizó la topografía clásica.

La representación tridimensional alámbrica de un yacimiento arqueológico es visualmente más compleja que cuando el objeto representado es el alzado de un monumento. La comprensión de un modelo tridimensional de un edificio es relativamente sencilla ya que se representan los bordes de los sillares, mampuestos u otros elementos que componen la fábrica, sin embargo cuando se representa un yacimiento arqueológico la irregularidad de los elementos que lo forman (sepulturas, muros, niveles) complican de forma considerable la visualización del yacimiento por parte del observador.

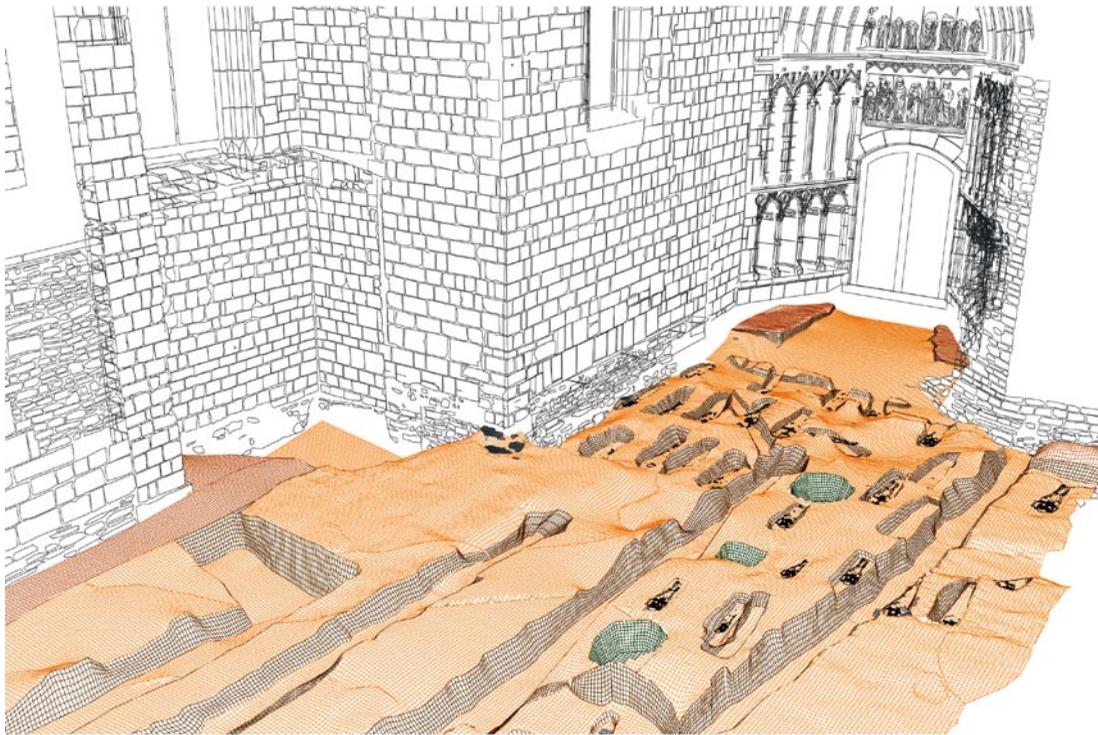


Fig. 4.—Representación de los muros exteriores y las excavaciones obtenida mediante un proceso semiautomático diseñado por el equipo de la excavación.

Para solucionar este problema se optó por implementar una metodología que permitiese contemplar la excavación a partir del modelo tridimensional alámbrico. Tomando como base el concepto de los MDT (Modelos Digitales del Terreno) se desarrolló un proceso de trabajo para poder realizar una representación de la superficie a partir de unidades teseladas de tamaño fijo (fig. 4).

2.2.2. Plaza de Santa María I, 2000-2001

La plaza de Santa María está situada frente a la fachada sur de la catedral. Para dotar a toda la excavación de la misma precisión geométrica se decidió registrar fotogramétricamente todas las unidades estratigráficas. De esta manera cada unidad era registrada 2 veces, por una parte era dibujada arqueológicamente durante el proceso de excavación y para su incorporación al SIM se generaba una nueva cartografía restituyendo los pares.

Dada la extensión de la excavación no resultaba posible realizar ninguna instalación fija adicional para conseguir una altura mínima aceptable desde la que tomar las fotografías, por lo que se diseñó un sistema personalizado de suspensión vertical elevable que permite la captura de imágenes en cualquiera de las zonas de excavación

(Mesanza *et al.*, 2003). Este sistema se coloca sobre la superficie a fotografiar y permite desplazar la cámara sobre el eje sin necesidad de mover el soporte consiguiendo unas condiciones óptimas en la toma de fotografías.

2.2.3. *Naves longitudinales, 2002-2003*

La documentación fotogramétrica de todas las unidades estratigráficas realizada en las excavaciones del periodo 2000-2001 supuso un fuerte aumento de los recursos dedicados a la documentación geométrica, lo que obligó a los responsables de la excavación a realizar un análisis en torno al equilibrio entre el trabajo destinado a la información geométrica y la correcta representación de las excavaciones.

En esta campaña se decidió realizar la fotogrametría de las unidades estratigráficas correspondientes a planos de periodo y aplicar el dibujo arqueológico al resto, haciendo más operativo el proceso de excavación.

2.2.4. *Plaza de Santa María II, 2004-2006*

En una excavación arqueológica existe multitud de documentación susceptible de ser registrada, desde las coordenadas de una unidad estratigráfica, pasando por las fotografías de los hallazgos hasta los análisis de composición del mortero de una estructura enterrada. Es imprescindible realizar un planteamiento integral de todas las tareas de registro y mantener un equilibrio entre todas ellas, evidentemente en este análisis influirá el enfoque metodológico que se decida aplicar.

Una aplicación sistemática de la fotogrametría a todas las unidades estratigráficas ralentiza y encarece el proceso de excavación y restitución. El proceso de evaluación y mejora continua de la metodología de toma de datos tuvo su punto culminante en el planteamiento realizado para las excavaciones del sector 26 en el año 2004.

En este momento se establece que los dibujos arqueológicos sean sustituidos por la toma de planos taquimétricos en campo y adicionalmente se realizan pares de todas las unidades estratigráficas. El tiempo empleado para la realización del dibujo arqueológico es utilizado para la toma de los puntos representativos por topografía clásica. El volcado de los datos al ordenador está sincronizado mediante un programa que se encarga de dar formato a estos puntos asignándoles un color determinado, situándolos en su capa correspondiente y enlazándolos a un registro concreto de la base de datos. De esta manera se obtiene un registro actualizado de la excavación sin incrementar recursos humanos y eliminando trabajo de laboratorio. Complementariamente se toma un par de fotografías y sus correspondientes puntos de apoyo para posibilitar su restitución fotogramétrica que en un principio sólo se realizará en aquellos elementos singulares cuya importancia requiera una representación de detalle.

2.2.5. *Crucero, 2007-2009*

La valoración de la metodología seguida en el sector 26 fue muy positiva y se utilizó también para la documentación del sector 29. Como novedad se puede señalar la utilización de una cámara semimétrica digital para la toma de pares fotográficos y de su correspondiente restituidor digital, lo que ha aportado las mejoras propias de los sistemas digitales (flexibilidad, inmediatez y ahorro de costes de revelado). Otra característica propia de esta campaña ha sido la aplicación de la técnica de la aerotriangulación para la toma de los pares fotogramétricos. La aerotriangulación es una técnica desarrollada para el proceso de documentación fotogramétrica en el que el concepto de par estereoscópico se transforma en el de pasada de tal forma que se realiza una serie de fotografías sobre el mismo eje de desplazamiento permitiendo formar pares estereoscópicos entre dos fotografías correlativas. La gran ventaja de este método es que los puntos de apoyo no los tenemos que tomar en cada par sino que a medida que se va restituyendo un par vamos logrando puntos de apoyo para el siguiente, consiguiendo un ahorro del trabajo de campo.

Al igual que en la anterior campaña el dibujo arqueológico es sustituido por taquimétricos obtenidos por topografía clásica y además todas las unidades son documentadas por fotogrametría haciendo accesible en un futuro la información métrica y visual.

3. GESTIÓN DE BASES DE DATOS

Como hemos apuntado anteriormente la base de datos se articula siguiendo una estructura relacional a partir de valores únicos asignados a cada registro denominados campos clave. Esto nos permite ampliar información en función del nivel de detalle que deseemos. Cuando definimos relaciones entre las diferentes tablas indicaremos qué tipo de relaciones estableceremos optando entre los tipos uno a uno, uno a varios o varios a varios (fig. 5).

Además de la información alfanumérica contenida en las diferentes tablas de la base de datos el sistema también gestiona una gran cantidad de imágenes correspondientes a fotografías, croquis y dibujos vectorizados. Esto se realiza con el diseño de formularios personalizados para cada nivel de información. La salida de datos se completa con una serie de informes prediseñados para almacenar en soporte físico los datos requeridos.

La base de datos se completa con una serie de macros y programas en lenguaje Visual Basic para Aplicaciones que realizan tareas de cálculo complejo. Estos programas son de vital importancia si se han de acometer tareas de reorganización de la información. Aunque el modelo de datos debe ser previamente establecido, no es inmutable y el proyecto inicial se va enriqueciendo en matices que se traducen en la ampliación de los datos o en la revisión de las relaciones existentes.

Los contenidos que incluye esta base de datos son más de 11.000 registros referidos a la unidades estratigráficas, más de 2.000 fichas de enterramientos, decenas de tablas referidas a aspectos parciales de la tabla principal, la gestión de los más de 3.000 pares fotogramétricos realizados y más de 20.000 archivos de imágenes.

La base de datos utilizada para el registro arqueológico se denomina HISTORIA. MDB y está conformada por una serie de tablas relacionadas entre sí por unos campos comunes. Se describe a continuación el contenido de esta base de datos.

- Tablas principales: Tabla Unidades que contiene toda la información general asociada a las Unidades Estratigráficas y las tablas DatosDepósitos, DatosSuperficies, DatosDepósitos y DatosElementos que describen aquellas características específicas al tipo de unidad correspondiente.
- Tablas índice: Definen qué valores se muestran en la lista desplegable asociada a cada campo. Ejemplos de tablas de este tipo son tblZonas, tblAparejos, tblCroquis, tblDiapositivas, tblJuntas, tblMateriales, tblMorteros, tblMuestras,...
- Tablas referencia: El paradigma de datos relacional establece que uno o más campos en cada tabla deben identificar de manera exclusiva el registro correspondiente. Estos campos reciben el nombre de clave y se utilizan para relacionar registros entre diferentes tablas. Estas relaciones se indican en este tipo de tablas. Se corresponden a este tipo de tablas las siguientes; tblRefAparejos, tblRefCroquis, tblRefDiapositivas, tblRefMateriales.
- Tablas especiales: Debido al cometido que cumplen y a la estructura que poseen se pueden reseñar cuatro funciones específicas de la base de datos que es interesante comentar:
 - TblSecuencia: En una excavación van apareciendo una serie de unidades mínimas de identificación que se denominan Unidades Estratigráficas. Estas unidades se relacionan entre sí con criterios temporales (anterior, posterior o coetáneo) y con criterios constructivos (cubrir, rellenar, apoyar, adosar, cortar o unir). Estas relaciones son bidireccionales ya que si A es anterior a B obligatoriamente B es posterior a A. El análisis de estos datos es imprescindible para comprender cualquier estudio basado en la estratigrafía. En nuestro caso se dispone de una tabla específica dedicada a esta tarea cuyo campo clave es la Unidad Estratigráfica y el resto de campos lo forman las diferentes combinaciones de los criterios temporales y constructivos. Para la introducción de los datos se integra en un formulario junto con el resto de características de la unidad, permitiendo la visualización de todas las características de la tabla principal. La correspondencia de relaciones entre 2 unidades estratigráficas diferentes se controla mediante un módulo de programación específico.
 - Niveles de agrupación: En las diferentes campañas de excavaciones de la catedral han aparecido más de 11.000 UEs y para el diseño del diagrama de actividades es necesario establecer niveles de agrupación de tal forma que varias UEs se agrupan en Actividades, varias actividades en Grupos de Actividad, varios Grupos de Actividad hacen una Fase y varias fases articulan un Periodo. Esto se materializa en 5 tablas con relaciones de varios a uno creando un modelo de datos flexible que permite revisar las agrupaciones realizadas manteniendo la integridad referencial de los datos.

- Enterramientos: En el proceso de excavación aparecen elementos singulares que son convenientemente documentados. Este es el caso de los enterramientos a los que se les asigna una UE tipo depósito correspondiente al relleno y otra UE tipo Superficie que identifica la interface pero poseen relevancia propia para poseer una documentación específica. Para ello se ha definido una tabla con las características de los enterramientos y un formulario que incluye imágenes del enterramiento y de otros aspectos como su posición en el terreno.
- Fotogrametría: La documentación geométrica realizada con la técnica de la fotogrametría ha ido evolucionando conforme se han ido sucediendo las diferentes campañas, generando miles de fotogramas y puntos de apoyo. Una de las principales funciones de esta documentación es la de servir como base para posteriores reinterpretaciones visuales y geométricas por lo que una eficiente gestión de estos datos es imprescindible. Esta información está organizada de tal manera que se puede conocer en qué fotogramas y con qué puntos de apoyo podemos volver a restituir las Unidades Estratigráficas que nos interesan. También se puede consultar la información asociada a la toma fotográfica como la base entre diferentes tomas o distancia media al objeto para conocer la precisión geométrica del par estereoscópico.

4. SISTEMA DE INFORMACIÓN MONUMENTAL (SIM)

La gestión de todos estos datos se ha realizado mediante un sistema de información geográfica aplicado al monumento que hemos denominado Sistema de Información del Monumento (SIM).

El primer módulo de gestión de la información geométrica y temática fue un módulo específico desarrollado por programadores para la Catedral de Santa María (Azkarate *et al.*, 2001:636-639), recordemos que en el año 1997 no existían soluciones comerciales para trabajar con información vectorial tridimensional y bases de datos. Posteriormente, tras haber evaluado las diferentes ofertas existentes en el mercado se realizó una migración a software comercial, reorganizando el modelo.

La estructura y gestión del modelo está orientado a que cualquier usuario habituado a trabajar con modelos vectoriales tridimensionales pueda realizar las tareas más habituales, como pueden ser la selección de aquellos elementos del dibujo que interesan, la consulta de sus valores asociados y la generación de planos temáticos. Para facilitar su manejo desde la Fundación Catedral Santa María se han programado diversos módulos de personalización del entorno de trabajo.

Las utilidades y posibilidades de gestión de la información son innumerables y el método de uso de la aplicación sigue un esquema básico. En primer lugar se elige qué información geográfica se desea consultar, para ello el usuario dispone de una serie de herramientas propias del software utilizado y otras implementadas mediante programación. Los criterios de selección pueden ser espaciales (seleccionando una ventana o polígono en el terreno), según atributos de dibujo (colores de líneas, pertenencia a

capas del dibujo) o según las características definidas en la base de datos (basadas en el lenguaje SQL). Una vez que se define la información geográfica se puede extraer la información seleccionando la entidad elegida o se puede definir una serie de criterios temáticos y asignarles una serie de características gráficas creando un plano temático.

La representación gráfica de las excavaciones tiene la complicación añadida de que se visualizan los diferentes niveles que han ido apareciendo en el terreno y hace que la comprensión del dibujo sea complicada. La posibilidad de mostrar las diferentes capas del terreno en función de sus características temporales permitirá organizar el dibujo de manera que se visibilicen los diferentes planos de periodo. Estos planos no serán inmutables y evolucionarán automáticamente con el desarrollo de la investigación arqueológica (fig. 6).

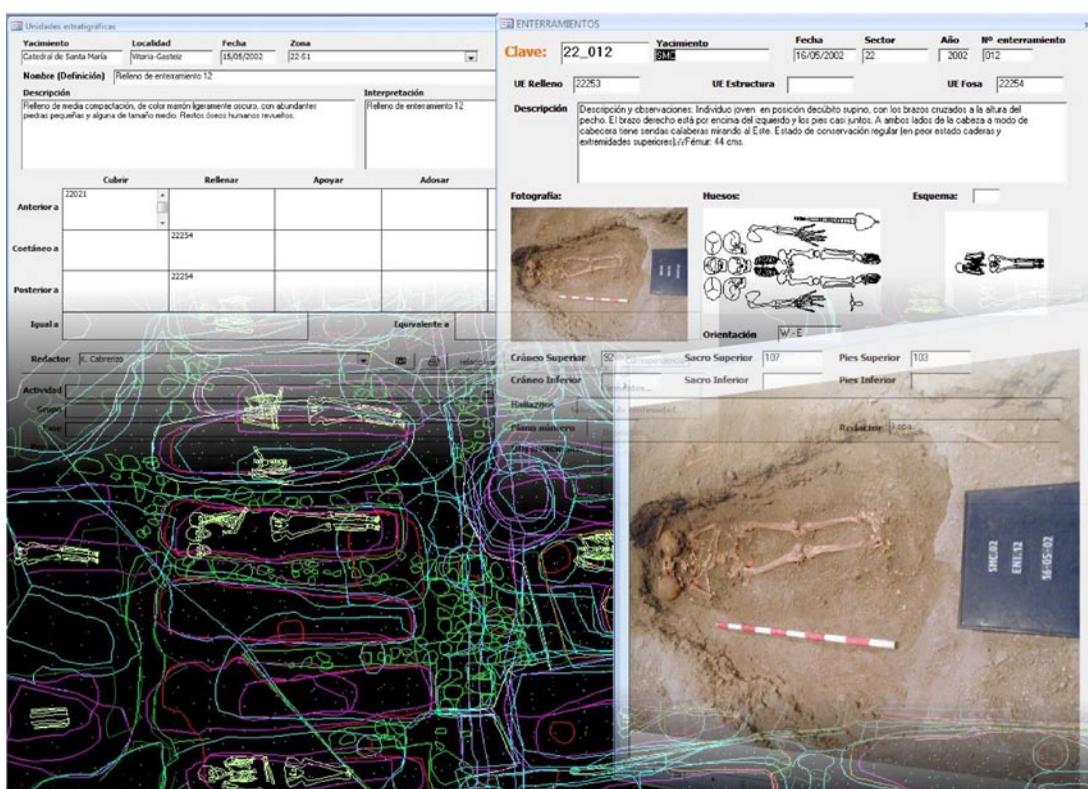


Fig. 6.—Imagen que sintetiza la relación entre imágenes, datos alfanuméricos e información geométrica en el SIM.

5. FUTURO

El objetivo del SIM aplicado a la Catedral de Santa María ha sido mantener un sistema que permita la documentación y gestión de todos los datos generados para su restauración. Actualmente su utilización está orientada al uso de los equipos que participan en la restauración pero evidentemente una herramienta tan potente no puede

renunciar a su potencial socializador. Por todo ello se está pensando en el siguiente paso, que consistirá en difundir toda esta información a través de internet.

Esta fase requiere de un completo análisis previo, estableciendo cuidadosamente los diferentes perfiles de usuario que se quieren generar, indexando la información con los metadatos correctos, diseñando una interface intuitiva para posibilitar una navegación ágil y estructurando los datos para que toda la información generada se incorpore automáticamente al sistema.

Por lo tanto el futuro pasa por universalizar el conocimiento generado en la restauración de la catedral y por lo tanto las herramientas utilizadas deberán ser multiplataforma y en la medida de lo posible se basarán en software colaborativo y no propietario.

6. CONCLUSIONES

La excavación del terreno es una actividad básicamente destructiva en la que el arqueólogo es el encargado de interpretar los resultados, por lo tanto el proceso de registro geométrico y alfanumérico es de suma importancia para su utilización en el estudio correspondiente pero es imprescindible si lo analizamos como una actividad destructiva de información material.

La utilización de la técnica de la fotogrametría proporciona al proceso de excavación una documentación geométrica precisa y posibilita una reconstrucción visual en tres dimensiones gracias a la visión estereoscópica.

Las técnicas de registro y gestión de la información geométrica están en proceso de permanente actualización e innovación y es necesaria una evaluación constante de la metodología utilizada, siendo especialmente importante evitar rutinas y autocomplacencias que paralicen un análisis preciso de las herramientas adecuadas para el cumplimiento del objetivo propuesto.

La evolución de los equipos utilizados en topografía permite una utilización sistemática de la topografía clásica como apoyo y como alternativa a la fotogrametría en la definición geométrica de algunos elementos excavados.

RECONOCIMIENTOS

GPAC: Grupo de investigación en Patrimonio Construido de la Universidad del País Vasco. Equipo encargado de la realización de las excavaciones en la Catedral de Santa María.

<http://www.ehu.es/arqueologiadelaarquitectura/>

Laboratorio de documentación arquitectónica de la Universidad del País Vasco.

<http://www.ldgp.es>

LyC arquitectos: Ejecución del modelo tridimensional del exterior e interior de la Catedral de Santa María y de la primera fase del SIM.

BIBLIOGRAFÍA

- AZKARATE, A., CÁMARA, L., LASAGABASTER, J.I. y LATORRE, P., (2001): *Plan Director de Restauración. Catedral Santa María. Vitoria-Gasteiz* (vol. I y II), editado por Diputación Foral de Álava.
- CABALLERO, L., ARCE, F. y FEIJOO, S. (1996): “Fotogrametría y análisis arqueológico”, *Revista de Arqueología* 186, pp. 14-25.
- MESANZA, A., RODRIGUEZ, A. y VALLE, J.M. (2003): *Documentación Geométrica de la excavaciones de la Catedral de Santa María de Vitoria-Gasteiz*, Memoria Mayo 2000-Junio 2003.