

# La utilización del Láser Scanner en el registro arqueológico: La experiencia de la Universidad de Alcalá.

Lauro Olmo Enciso, Manuel Castro Priego y Miguel López Macía

Área de Arqueología, Universidad de Alcalá. España.

## Resumen

*El área de arqueología de la Universidad de Alcalá viene desarrollando desde hace más de 5 años el uso de instrumental 3D para el análisis, registro y estudio arqueológico de los edificios que componen el complejo universitario declarado Patrimonio de la Humanidad en 1998. Se ha comparado sus ventajas y defectos con otras metodologías más tradicionales (levantamiento ortorrectificado 2D).*

**Palabras Clave:** LÁSER SCANNER, ORTORRECTIFICACIÓN, REGISTRO ARQUEOLÓGICO. SOFTWARE CAD.

## Abstract

*The area of archeology at the University of Alcalá has been developing for over 5 years the use of 3D instruments for analysis, recording and archaeological study of the buildings of the university complex declared a World Heritage Site in 1998. It has its advantages and weaknesses compared to other more traditional methods, the time has allowed us to combine different methods, such as the realization of rapid orthorectification of high resolution topographic reference using total station, with optional vertical lift and CAD software.*

**Key words:** LASER SCANNER, ORTHORECTIFICATION, ARCHAEOLOGICAL RECORD, CAD SOFTWARE.

## 1. Introducción

Desde hace más de 7 años, se ha generalizado el surgimiento de distintas técnicas e instrumentaciones de aplicación informática que han comenzado a emplearse en diversos proyectos de investigación e intervención arqueológica. Gran parte de ellas surgidas bajo la iniciativa emprendida dentro del VI Programa Marco de la Unión Europea para el fomento y la difusión del Patrimonio Cultural y Arqueológico (EPOCH).

El proyecto del Área de Arqueología de la Universidad de Alcalá ha buscado como objetivo la generación de un Sistema de Información Monumental (S.I.M.) como instrumento de registro y análisis de la realidad material y arqueológica. Por otro lado, la puesta en valor de un conjunto de técnicas aplicadas a la Arqueología de la Arquitectura con nuevas herramientas tecnológicas que permitiesen, fundamentalmente, registrar la secuencia histórica de las edificaciones.

Las áreas de actuación principales, han sido el yacimiento arqueológico de Recópolis, situado en el término de Zorita de los Canes en Guadalajara y los diferentes edificios de Alcalá de Henares (Madrid) que conforman el conjunto declarado Patrimonio de la Humanidad, y por último el levantamiento de la muralla de Sigüenza (Guadalajara).

### 2. Investigación en el Parque Arqueológico de Recópolis.

Se ha aplicado, sobre estratigrafía vertical, y también en el registro de estructuras negativas. Para ello, se ha empleado *hardware* láser scanner Faro 880HE junto a siete referencias móviles como elementos de contrastación o triangulación. El instrumento se ha usado a media-alta potencia, siendo capaz de

generar un máximo de 28 millones de puntos, a una distancia de 80 m. Sobre esta longitud, hemos realizado posteriormente un análisis de error o diferencia situacional, y de “ruido”, entendiéndose por éste aquellos puntos dotados de una ubicación espacial que carecen de una información significativa, ya que no responden a contacto con ningún objeto topográficamente representable, si no a la plasmación gráfica de la contaminación ambiental.

En unas condiciones extremas, como es el caso de los meses de verano, en las franjas diurnas de máxima luz, se realizó un conjunto de pruebas tanto de intensidad, como de distancia, de las que pudimos extraer una serie de pautas. El aumento de la intensidad del láser hasta los niveles máximos no generaba un aumento en la calidad de los datos adquiridos aumentando sin embargo, los puntos fallidos a partir de los 10 m. En distancia superiores a 15 m. el número de elementos perdidos, alcanza el 35%, lo que afecta directamente tanto a la resolución de los resultados, como a su capacidad de análisis grupal. Ello obliga a un incremento del 15% de las tomas, y a generar un modelo por tanto más “pesado” y gestión”.

De todo ello se desprende que, la capacidad para ubicar un objeto tridimensionalmente es muy elevada en un rango que alcanza hasta los 30 m., que es la franja de plena operatividad. Al aumentar la distancia, y mantener las dificultades de las condiciones se multiplica el número de puntos “fallidos”, duplicándose cada 10 m. A pesar de ello, y en las peores condiciones posibles, se pudo realizar un primer levantamiento “rápido” (3 horas) de la ermita bajomedieval con una perfecta ubicación de este edificio, y su superposición sobre la Iglesia Visigoda del Yacimiento, sin necesidad de emplear elemento topográfico alguno.

Distancia del Láser	Error en la Situación del Objeto Promedio No AfECCIÓN Luz Solar		AfECCIÓN Luz Solar-Promedio (12 A.M.-Julio 2007 y 2008)
1m	0,0003m	0,0006m	0,0006 -0,0012 m
5m	0,0016m	0,0031m	0,0080 -0,0165 m
10m	0,0031m	0,0063m	0,0093 -0,0189 m
20m	0,0063m	0,0126m	0,0195 -0,0612 m
30m	0,0094m	0,0188m	0,0470 -0,0940 m
40m	0,0126m	0,0251m	0,0756 -0,1506 m
50m	0,0157m	0,0314m	0,1256 -0,2008 m.
60m	0,0188m	0,0377m	0,1692 -0,3393 m.
70m	0,0220m	0,0440m	0,220 -0,440 m.

**Fachada Sur de la Ermita (Figura 1-D):** Es una de las zonas en las que más hemos incidido por varias razones: La unión de distintas fases históricas del conjunto; el deterioro y peligro de caída de toda esa zona en un futuro próximo si no se realiza una restauración inmediata y adecuada; el desplazamiento hacia el norte de la fachada sur, se observa a simple vista, en la planta generada por el instrumental tridimensional. Se levantó posteriormente un plano en alta resolución en 2D, a través del empleo del software Faro Cloud, que permitió la visualización de los datos en plataforma CAD. La integración de los datos bidimensionales se realizó mediante el *software Photoplan*, efectuando posteriormente la lectura estratigráfica del conjunto.

**El ábside o cabecera de la Iglesia (Figura 1-B):** Se trata de una construcción del siglo VI d. C., intensamente modificada durante la baja Edad Media. El levantamiento de la ermita bajomedieval sobre él, ha generado dificultades para realizar una correcta identificación de sus fases constructivas, pero también de su adecuado estudio, desde su excavación en los años 40, en la que ya se ponía de manifiesto su posición girada con respecto, al resto del edificio. La aplicación de la tecnología láser scanner ha incidido, especialmente en este aspecto, pudiendo documentarse que, la orientación del ábside es algo menor al sur de éste, de lo que se conocía hasta ahora. Tal como se muestra en la lámina adjunta, la variación al norte, con respecto a los datos topográficos es mínima (1 grado de diferencia), pero al sur, alcanza la cifra de 3 grados, lo que demuestra que el total de la cabecera, y no sólo el ábside varían ligeramente en su ubicación, aportando datos estructurales básicos para afrontar su posible restauración.

**Espacios productivos (Figura 1-C):** La tecnología láser scanner, ha permitido la documentación de varias fosas de extracción de arcilla, de época bajomedieval, aportando datos tanto de su fisonomía como de su capacidad.

**Área de producción de Vidrio (Figura 1-E):** En el caso de esta zona, y su espacio inmediato se optó por la documentación del edificio, pero también una “modelización” de uno de los hornos, con el objetivo de intentar calcular su capacidad, que

parece ser muy reducida, lo que ratifica aún más la propuesta de que se trata de una construcción secundaria en el proceso productivo cuya finalidad fundamental es rematar la ornamentación y diseño de las piezas, más allá de la elaboración de la pasta vítrea que se hacía en otros espacios próximos. Al mismo tiempo, se documentó parcialmente el proceso deposicional horizontal del conjunto de estratos próximos vinculados a este área, permitiendo una posterior reconstrucción tanto de sus características como de las relaciones estratigráficas entre ellos.

### 3. Investigación en Alcalá de Henares

Nuestro estudio se ha centrado, inicialmente, en dos áreas. Por un lado el Patrio Trilingüe (ss- XVI-XVII), conjunto clave en la manzana fundacional cisneriana, y el antiguo colegio de Basilio (ss. XVII-XVIII). Para ello se planteó la realización de un extenso modelo tridimensional con el láser scanner Faro 880HE, combinado con una recopilación de datos mediante herramientas de captación fotogramétrica o de ortorrectificación (Figura 2).

El estudio del Patio Trilingüe-Paraninfo obligó a la generación de un extenso modelo tridimensional, en el que se integró sin embargo, parte de los datos en 2D ya existentes. El objetivo de nuestro estudio, no ha pretendido la construcción de modelos virtuales, en esta fase inicial, centrándonos en la elaboración de modelos de desarrollo, “productivos” que permitiesen concretar si era posible la sustitución definitiva mediante este instrumental del empleo de herramientas de captación fotogramétrica ó de ortorrectificación. La respuesta, no puede ser del todo definitiva, en un sentido u otro. En el caso que nos ocupa, que carecía de una representación gráfica suficientemente precisa, se diseñó previamente un plan de trabajo que incluía:

- Levantamiento mediante estación total del patio, limitándose a la representación de la arquería, una planta general, que permitiese un primer documento gráfico.
- Utilización de tecnología láser scanner para la representación detallada, de los paramentos del patio, tras la eliminación de los enfoscados que los cubrían, respondiendo a dos cuestiones: evolución y construcción del espacio y transformaciones del área en el periodo comprendido entre 1500-1580, en el que se produce la primitiva articulación del Teatro-Paraninfo, con la configuración de un primer patio, modificado en la segunda mitad del siglo XVI, tras el proyecto de Pedro de la Cotera, en el que el conjunto adquiere su fisonomía definitiva.
- Avanzar en la evolución de las técnicas constructivas, a lo largo de los siglos XVI y XVII, centrándose en los cambios de las características de los tres materiales que, con mayor intensidad, caracterizan a la fase de extensión de la “ciudad conventual”: el ladrillo, el tapial y la cal-yeso.

Para ello, se realizó el levantamiento de las cuatro crujías, mediante escenas tridimensionales individualizadas de cada una de las áreas respetando el espacio entre columnas, lo que generaba una superficie media de 4 m<sup>2</sup>, creándose un modelo de 9 millones de puntos, de los que eran útiles una franja comprendida entre 2,5-3 millones. A cada uno de los ficheros producidos, se les unía, una toma fotográfica—integrada por 11 fotogramas—, realizada en gran angular de 10 mm., adaptada automáticamente por el *hardware*, cubriendo una superficie alrededor de la máquina de 180 grados, y en las uniones de las alas 360 grados, con un tamaño medio de 55 MB, que tras la

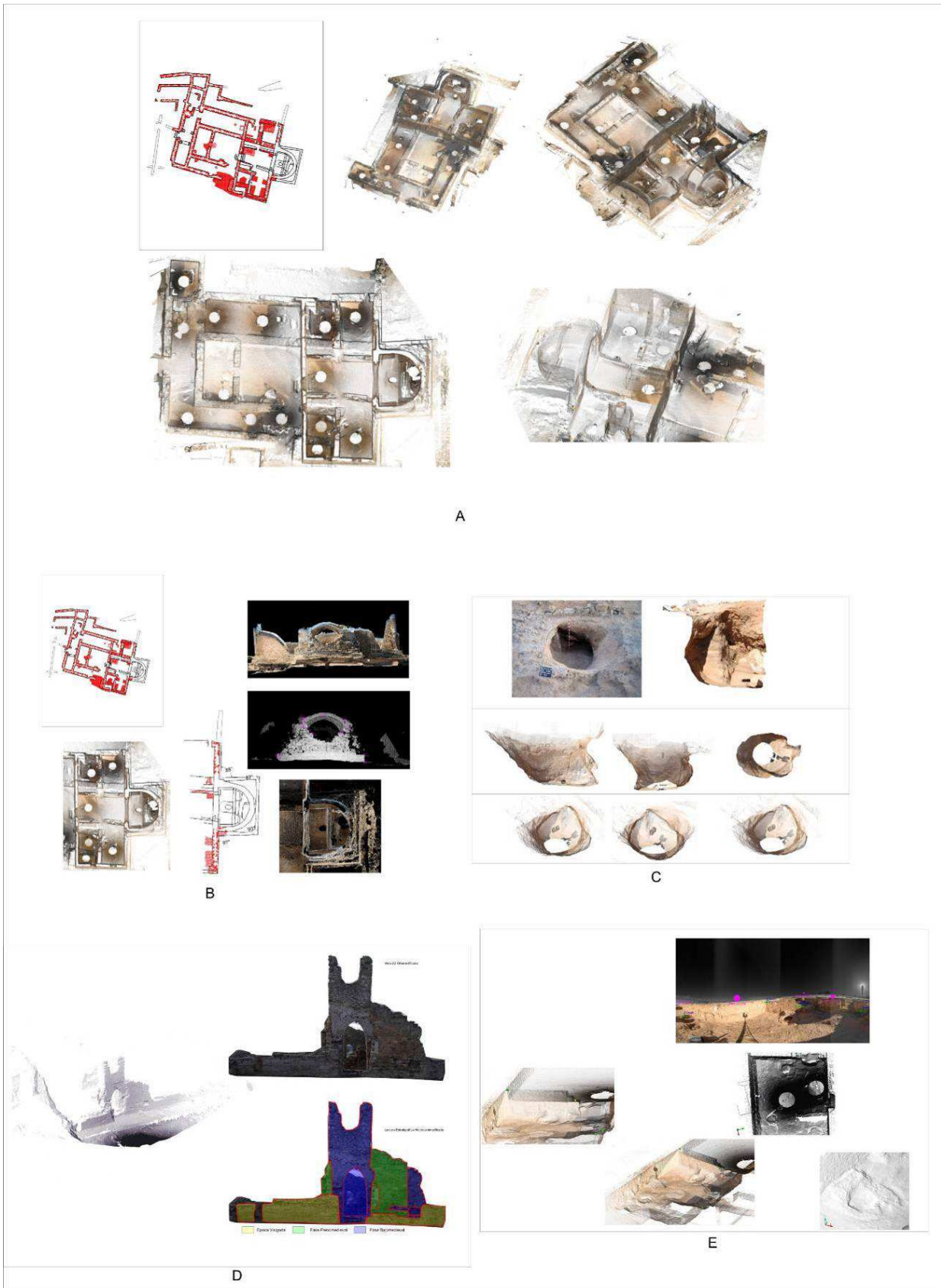


Figura 1: APLICACIÓN 3D PARQUE ARQUEOLÓGICO DE RECÓPOLIS

eliminación del ruido ambiental, especialmente por la luz solar, quedaron reducidos definitivamente a 28-30 MB. El modelo aportaba datos interesantes desde el punto de vista métrico, y especialmente, a través de su capacidad para reproducir las zonas de contacto entre “*interficies*”. Sin embargo, la resolución no permitía una información “nítida” y operativa que permitiese una identificación precisa de los elementos que conformaban las distintas unidades estratigráficas. Por ello, se decidió utilizar el levantamiento tridimensional, para articular un esquema de ortorrectificación rápido. Para ello, se decidió emplear el software alemán *Photoplan*, integrado dentro de un programa CAD de amplio uso.

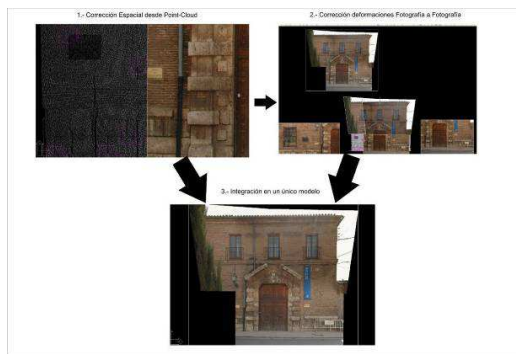


Figura 2: METODOLOGÍA 2D DESDE POINT-CLOUD

Este *software* permite, combinado con instrumental topográfico, y desarrolla modelos bidimensionales ortorrectificados a partir de la unión de distintos fotogramas. La precisión va ligada a dos aspectos, uno de ellos, obviamente, es la resolución que las cámaras digitales pueden alcanzar. Frente a una toma, efectuada con 3,1 MP—2048x1536 píxeles—, el error, medio en una distancia de 10 m., no supera 1,5 cms. El aumento de los valores alfanuméricos que capta la cámara, por ejemplo, 12, 1 MP., con imágenes de 4000x3000 píxeles, generan un error, con unas condiciones similares, inferior a 1 cm., respetando necesariamente la creación de unas mallas topográficas de acuerdo a criterios de regularidad—forma rectangular, y trapezoidal—, a lo que se debe sumar la horizontalidad del fotograma con respecto al área recogida, y el enfoque ajustado al centro de la imagen. Se emplearon tres herramientas fotográficas, dos de ellas calibradas—Nikon D70s, y Rollei DP 8300—, así como una tercera—Nikon Coolpix 995—, de la que no se habían evaluado las características de su objetivo.

Empleamos cada una de las escenas tridimensionales de manera individual, trasladándose también a Autocad, donde se integraban con el modelo. Establecimos un diseño geométrico, ó de enlace entre los planos 2D y 3D, a través de puntos de conexión comunes. El resultado fue satisfactorio, permitiéndonos un ajuste muy preciso que contrastaba, incluso con el levantamiento bidimensional, que aportaba unas dimensiones ligeramente diferentes por cruja— entre 5-10 cms.—. Con un planteamiento muy similar, también se efectuó el levantamiento de la fachada sur de Basilio, aunque en este caso, el montaje de las distintas escenas se realizó empleando *Rapidform*, procediendo posteriormente a una inicial “modelización”, evaluativa, que valorase el grado de “homogeneización”, sobre fábricas en ladrillo, con unidades que rara vez, superan los 25 cms.

#### 4. Conclusiones

El uso de la tecnología 3D debe estar supeditada a un análisis crítico de las necesidades y objetivos reales de cada investigación, especialmente en su orientación al análisis registro arqueológico mediante metodología estratigráfica.

Si la superioridad técnica del instrumental en la captación de la fisonomía es indudable, es necesario evaluar de manera definitiva su potencialidad, ó uso, como elemento de registro de cada uno de los elementos que componen la realidad material arqueológica, y que definen la unidad estratigráfica. Su posterior integración en un Sistema de Información geográfica (Figura 3), capaz de analizar los resultados históricos y materiales de la intervención, es uno de las futuras áreas de aplicación, aunque todavía con procesos de gestión extremadamente costosos, desde el punto de vista temporal, que hacen inviable su amplia utilización.

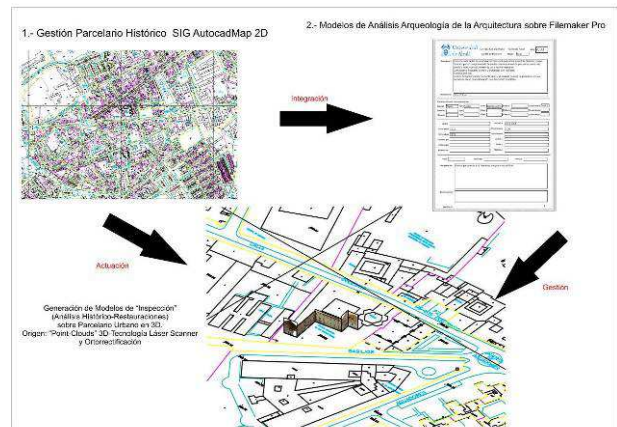


Figura 3: INTEGRACIÓN S.I.G. 3D



## Bibliografia

FORTE, M. (2007): *La Villa de Livia. Un Percorso di ricerca di Archeologia Virtuale*, Roma.

FRANCOVICH, R. y PARENTI, R. (1988): *Archeologia e restauro di monumenti*, Firenze.

FRISCHER, B., DAKAOURI HILS, A. (Coords.) (2008): “*Beyond Illustration: 2D and 3D digital technologies as tools for discovery in archaeology*”. British Archaeological Reports.

MURPHY, M., MCGOVERN, E., PAVIA, S. (2011): “Historic Building Information Modeling- Adding intelligence to Laser and imagen based surveys” *4<sup>th</sup> ISPRS International Workshop*, Trento.

PERIPIMENO, M. (2006): “Sperimentazione di tecniche 3d laser scanning in archeologia: l’esperienza sienese”, CAMPANA, S. y FRANCOVICH, R., *Laser Scanner e GPS. Paesaggi Archeologici e tecnologie digitali, 1*, Firenze, pp. 143-157.