

# Nuevos métodos para viejas tecnologías: análisis y documentación de los materiales arqueológicos mediante la aplicación de sistemas Láser-scanner 3D

Daniel Rubio Gil<sup>1</sup>, José Martínez Rubio<sup>2</sup>, Javier Baena Preysler<sup>1</sup>, Juan José Fernández Martín<sup>2</sup>  
y Javier Finat Codes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid. España

<sup>2</sup> Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica (LFA) y grupo de Documentación, Análisis y Visualización Avanzada del Patrimonio (DAVAP) de la Universidad de Valladolid. España.

## Resumen

*El presente trabajo de investigación, pretende contribuir a profundizar en la cada vez más frecuente aplicación de Nuevas Tecnologías (Láser-scanner 3D) en la disciplina arqueológica, con el objetivo de desarrollar nuevas vías de estudio relacionadas con la documentación, análisis, divulgación, conservación y puesta en valor del registro material arqueológico. Para abordar este proyecto con garantías de éxito, hemos considerado indispensable llevarlo a cabo en un entorno de trabajo multidisciplinar (Departamento de Prehistoria y Arqueología de la UAM y grupo de investigación DAVAP del Departamento de Fotogrametría de la UVA), estrategia que nos permitirá desde una perspectiva conjunta, explorar y evaluar las múltiples posibilidades que nos ofrece el registro de materiales arqueológicos en 3D mediante Láser-Scanner, con el propósito de progresar en la obtención de resultados científicos y divulgativos más completos y acordes con el desarrollo actual de nuestra sociedad.*

**Palabras Clave:** REGISTRO ARQUEOLÓGICO, LÁSER-SCANNER 3D, INFORMÁTICA GRÁFICA, NUEVAS TECNOLOGÍAS.

## Abstract

*This research work, aims to contribute to the increasing application of new technologies (3D laser-scanner) in the archaeological discipline, with the aim of developing new avenues of study related documentation, analysis, dissemination, conservation and value of the archaeological register. To tackle this project successfully, we considered essential to implement a multidisciplinary working environment (Department of Prehistory and Archeology of the UAM and research group, Department of Photogrammetry DAVAP of UVA), strategy that will enable us in a joint and evaluate the many possibilities it offers us the register of archaeological materials in 3D Laser-Scanner, with the aim of advancing scientific results more informative and complete and consistent with the current development of our society.*

**Key words:** ARCHAEOLOGICAL REGISTER, LASER SCANNER 3D, COMPUTER GRAPHICS, NEW TECHNOLOGIES.

## 1. Introducción

Resulta evidente, que desde hace varias décadas, los constantes avances que se producen en el campo de la informática gráfica y de las nuevas tecnologías, así como la cada vez más frecuente colaboración entre diferentes grupos de investigación, han propiciado la incorporación masiva de nuevos métodos de documentación y estudio procedentes de diversos campos científicos, al ámbito de la Arqueología y el Patrimonio en nuestro país. Sin embargo, y aunque es innegable que las aplicaciones tecnológicas están abriendo un nuevo marco repleto de alternativas y vías de estudio aplicables en nuestra disciplina, no podemos obviar que en la mayoría de los casos estas líneas de investigación han estado focalizadas hacia estudios vinculados con la Arqueología de campo y las reconstrucciones/musealizaciones virtuales de yacimientos (sirvan como ejemplo las múltiples plataformas desarrolladas en el entorno de los S.I.G o las cada vez más frecuentes realidades virtuales elaboradas en yacimientos arqueológicos o monumentos de interés

patrimonial). Por el contrario, son mucho menos frecuentes los proyectos de investigación relacionados con el empleo de nuevas tecnologías en *pro* del desarrollo de nuevos métodos de registro en 3D de materiales arqueológicos. Dentro de esta última temática, es donde se ubica nuestra propuesta, cuya finalidad en este trabajo es mostrar algunas de las numerosas posibilidades que nos ofrecen los sistemas de digitalización 3D, para el análisis, documentación, divulgación y conservación del registro arqueológico.

## 2. Escaneado y toma de datos

Para la digitalización tridimensional de piezas de tamaños comprendidos entre unos pocos centímetros y hasta dos o tres metros, ya existe una variedad de soluciones tecnológicas.

La mayoría de los sistemas se basan en el principio de la triangulación espacial. Éste puede describirse de manera sencilla, como el proceso por el cual se calcula la posición en el espacio

de un punto de la superficie del objeto, mediante la resolución de un triángulo formado por dos trayectorias luminosas que convergen en dicho punto desde una base fija.

Los equipos normalmente están dotados de un proyector de luz colimada y un sensor capaz de determinar angularmente la procedencia de un punto luminoso. Cuando desde el emisor E se proyecta un rayo (láser en algunos casos) en una dirección conocida encontrando el objeto en su trayectoria, se produce un foco de radiación puntual o “spot” que puede ser “visto” por el sensor S bajo un ángulo determinado. Estas dos direcciones, que pueden caracterizarse por dos ángulos esféricos, junto con la *base-line* o distancia entre los centros de emisión y recepción, permiten la solución del punto del espacio del objeto.

El principio, con alguna salvedad, es el mismo de un método topográfico conocido como bisección y no es tampoco distinto del método general de la fotogrametría. Lo que distingue a un escáner frente a otros sistemas de posicionamiento es la posibilidad de realizar millones de bisecciones en lapsos de tiempo mínimos. Para ello el rayo de luz debe ser desviado gracias a espejos móviles u otros sistemas de deflexión en un movimiento de “barrido”.

El escáner *Minolta Vivid910* se basa en una haz láser plano que proyectado sobre el objeto, traza sobre el mismo un perfil luminoso que es registrado por una cámara situada fuera del plano de luz mientras va cambiando de forma al desplazarse el haz sobre el objeto en el movimiento de barrido. El análisis punto a punto de estos perfiles da lugar a una nube de puntos densa, que puede triangularse de forma sencilla siguiendo principios de proximidad para conectar los puntos con sus vecinos inmediatos. Una característica de este escáner es que el mismo sensor que registra los perfiles de luz y por lo tanto la geometría, al terminar la operación de escaneo pasa a funcionar como una cámara fotográfica y captura una imagen del escenario que servirá para dotar de color a cada uno de los puntos registrados en 3D por lo que puede decirse que registra seis coordenadas para cada punto XYZRGB.

El aparato admite tres grupos ópticos diferentes en el módulo de imagen; lentes con distinta focal y que por lo tanto capturan campos diferentes, pudiendo trabajar sobre un área mayor o menor, pero siempre capturando el mismo número de puntos 3D (ya que éste está limitado por el número de píxeles de la matriz CCD). Cambiando estas lentes optamos por tres modos de trabajo con distinta resolución espacial y precisión:

Lente	Rango XYZ útil (mm)	Precisión XYZ (mm)
f=25mm	111x83x40	±0.22mm ±0.16mm ±0.10mm
Focal f=14mm	198x148x70	±0.39mm ±0.28mm ±0.18mm
f=8mm	359x269x110	±0.71mm ±0.51mm ±0.28mm

Para agilizar y sistematizar la digitalización de una pieza completa desde todos los puntos de vista, se dispone de una plataforma rotatoria comandada por el software de control del escáner. Dicha base permite realizar giros programados (en este caso han sido cada 30°) a la pieza colocada sobre un soporte apropiado de modo que esta ofrezca todas sus caras al escáner.

El control de la mesa rotatoria incluye una fase inicial de calibración que permite al software reconocer la posición relativa del eje de rotación respecto al origen de coordenadas del escáner, con lo que es posible la unión automática de las “pieles” que se obtienen en los sucesivos escaneos

El escáner produce ficheros digitales en distintos formatos estándar (stl, ply, obj) así como en un formato “propietario”. Dichos archivos pueden unificarse por el procedimiento de reconocer y superponer las partes del objeto que han sido registradas en dos operaciones de escaneo solapadas. El constructor del escáner ofrece un programa denominado *Polygon Editing Tool* (PET) con el que además de controlar el equipo, el usuario podrá realizar las tareas de “pegado” y fusión de las distintas tomas, pero más allá de estas funciones resulta un software muy limitado. Por ello se puede recurrir a paquetes más potentes y completos, entre los que citaremos *Polyworks*, que ha sido el utilizado para los ejemplos que aquí se presentan, y otros como *RapidForm*, *Geomagic*, etc.

La secuencia de operaciones a partir de los datos dados por el escáner puede resumirse así:

- Registro o alineamiento dos a dos de las tomas sobre un único sistema de coordenadas. (Polyworks IMAlign)
- Fusión de las tomas en un único modelo 3D, en el cual se conserva la densidad de los datos originales. (Polyworks IMMerge).
- Análisis métrico: Secciones, análisis volumétricos, etc. (Polyworks IMInspect).
- Edición de productos de divulgación: Informes, imágenes, vídeos “fly around”, etc. Creación de librerías o catálogos de objetos 3D.

### 3. Postprocesado analítico a partir de los modelos 3D

Una vez finalizado el proceso de escaneo de los objetos, y completada la optimización global del modelo tridimensional generado, cabe preguntarse: ¿la aplicación de nuevas tecnologías es un fin en sí mismo para el estudio y documentación del patrimonio arqueológico? En nuestra opinión, consideramos erróneo cualquier teoría que nos induzca a pensar que por el mero hecho de aplicar novedades tecnológicas obtendremos resultados informativos con valor propio. Por tanto, tenemos la convicción de que la utilización de estas nuevas herramientas, debe concebirse no como una solución *per se*, sino como un medio que nos permita explotar al máximo la potencialidad informativa que posee el registro arqueológico (TEJADO, 2005: 138-140). La vinculación de las nuevas tecnologías deberá hacerse no como objeto de estudio por sí mismo, sino como vía con la que mejorar los objetivos propios de la Arqueología.

En este sentido, el trabajo que presentamos parte de una concepción metodológica previa, en la que intentamos ofrecer nuevas alternativas gráficas que nos ayuden a comprender y analizar el registro arqueológico de una manera mucho más integral, que la ofrecida hasta la actualidad por los métodos “tradicionales” de registro y representación. Para ello, mostramos como ejemplo tres objetos arqueológicos de diferente naturaleza física (industria lítica, material óseo y cerámica), que han sido escaneados con el objetivo de examinar algunas de las múltiples posibilidades de postprocesado, tanto analíticas como divulgativas, que nos proporciona el empleo de *Softwares* especializados (en este caso hemos empleado *Polyworks* de la empresa *Innovmetric*) para la gestión y explotación de los datos 3D generados con el scanner *Konica Minolta VI-910*.

En el caso de los **conjuntos líticos prehistóricos**, podemos decir que el principal inconveniente en la superación de los métodos tradicionales de registro en 2D, está fuertemente condicionado por el hecho de que cada pieza posee unas características morfológicas y volumétricas particulares. Por ende, todavía son escasos los proyectos de investigación que intentan emprender trabajos encaminados hacia la sistematización de nuevos modelos de representación en 3D de las industrias líticas, aunque merece la pena mencionar los estudios que actualmente está desarrollando el equipo *The Weizmann Institute of Science* en Israel (Grosman et al. 2008), donde a partir de la digitalización 3D de conjuntos Achelenses están elaborando catálogos tipológicos agrupados en diversas Galerías Virtuales, que pueden consultarse en su Web (<http://www.weizman.ac.il>).

En consonancia con el trabajo citado anteriormente, nuestro proyecto está dirigido hacia la mejora en el registro del instrumental lítico, tomando como referencia diversos materiales procedentes de varios yacimientos pleistocenos de la Comunidad de Madrid.

Aquí, exponemos a través de un bifaz proveniente del yacimiento de “Cien Fanegas” (Aranjuez, Madrid) una serie de ventajas que nos proporciona la analítica de postprocesado realizada sobre el modelo 3D, entre las que destacamos las siguientes:

- a) Morfometría dotada de gran precisión (20 micras), que nos permite elaborar estudios métricos casi exactos sobre cualquier parte de la pieza (Figura 1-A).

- b) Elaboración de renderizado y fotomontajes 2D a partir del objeto 3D, para representar de manera fidedigna cualquier vista de la pieza (Figura 1-B).
- c) Elaboración de un inventario tipológico virtual asociado a una base de datos.

En relación con los **materiales óseos**, son abundantes las investigaciones que recurren a la tecnología láser, como complemento idóneo de estudio para las prestaciones ofrecidas por las técnicas radiológicas (TAC), frecuentemente usadas por los especialistas en este campo (Mafart et al. 2004; Benazzi et al. 2009; etc).

En nuestro caso, hemos escaneado como muestra de este tipo de materiales, un fémur humano hallado en el Osario medieval de “Wamba” ubicado en la Iglesia de Santa María (Valladolid), el cual nos ha permitido indagar sobre algunas aplicaciones interesantes ejecutadas a partir del modelo 3D, como son:

- a) Métricamente, obtenemos representaciones rápidas y precisas (10 micras) sobre la morfología externa del material paleontológico (Figura 2-A).
- b) Elaboración de exámenes volumétricos precisos, mediante secciones paulatinas en tiempo real sobre cualquier plano (Figura 2-B).
- c) Amplias posibilidades para abordar estudios de carácter taxonómico, biomecánico, paleopatológico así como la elaboración de modelos virtuales.

En lo referente a los **objetos cerámicos**, se puede afirmar, que su naturaleza geométrica -superficies de revolución-, ha facilitado notablemente tanto la experimentación con plataformas informáticas de tipo CAD (SOPENA, 2006, IRUJO y PRIETO, 2007), como la investigación con instrumentos de escaneado 3D (KARASIK y SMILANSKY, 2008, etc), ambas enfocadas hacia la representación tridimensional de estos materiales.

Nuestra contribución, dentro de este prolífero campo de estudios relacionados con el registro 3D del material cerámico, se basa en diversas experiencias de documentación de las producciones cerámicas campaniformes del yacimiento Calcolítico de “El Camino de las Yeseras” (San Fernando de Henares, Madrid). De la misma manera que en el resto de materiales, existen numerosas vías de análisis posteriores al modelado 3D del objeto, entre las cuales reseñamos estas:

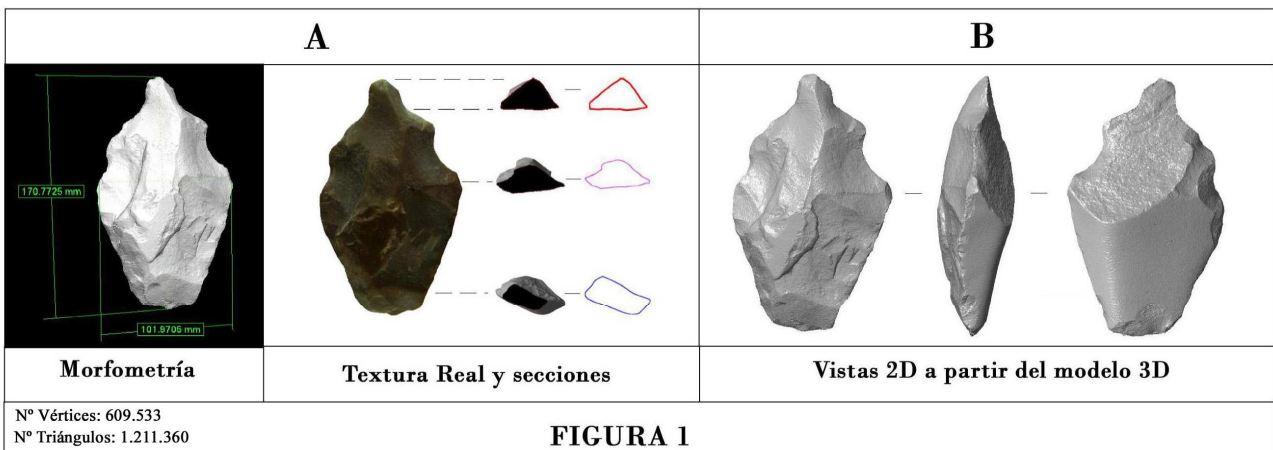
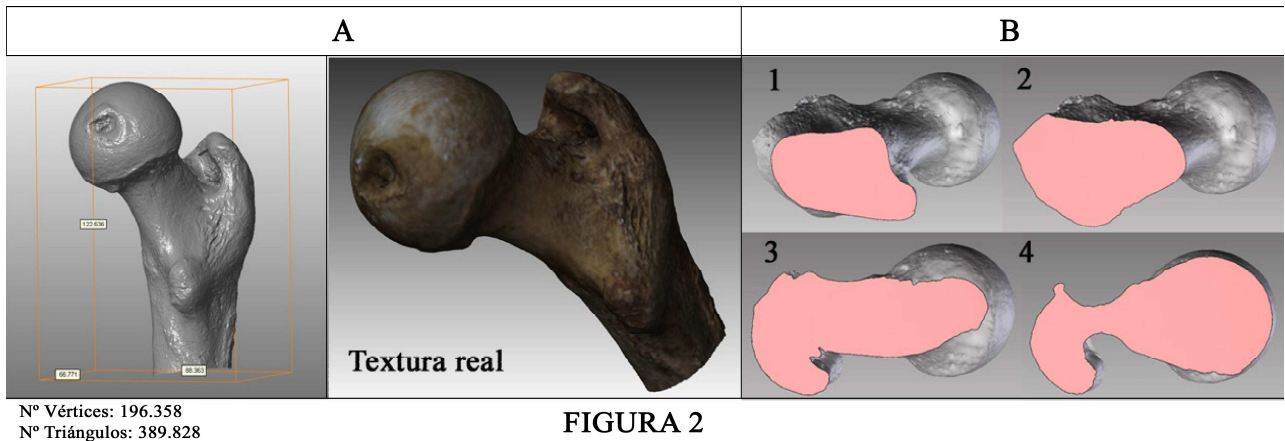


FIGURA 1



- a) Aprovechamiento de la precisión métrica, para la delimitación correcta de los perfiles/secciones, que tanta complejidad presentan en las producciones cerámicas elaboradas a mano (Figura 3-A).
- b) Estudios de carácter tecnológico y de manufactura del objeto, por medio de secciones radiales desde el eje de simetría y equidistantes entre sí (Figura 3-B).
- c) Reconstrucción 3D a partir del fragmento (si es posible), con la finalidad de crear galerías virtuales, y de realizar analíticas relacionadas con la potencialidad de uso del artefacto, como son el cálculo de volumen, centro de gravedad, etc. (Figura 3-C).

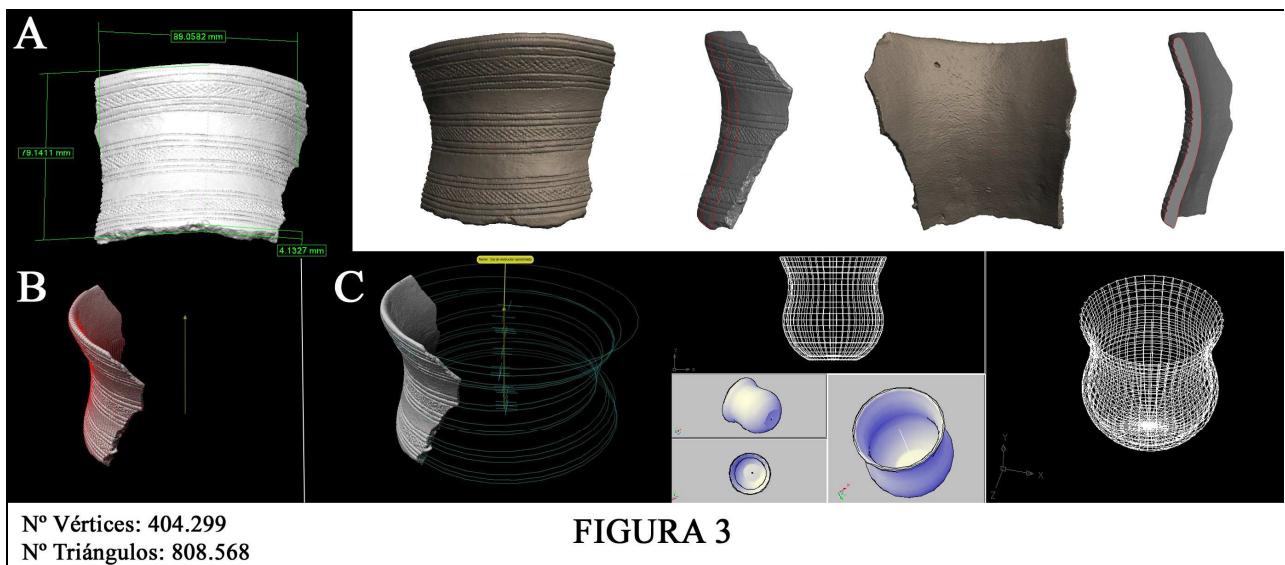
enfoques metodológicos para la documentación y análisis del registro arqueológico. En este sentido, consideramos que la captura digital de materiales arqueológicos mediante tecnología láser-scanner 3D nos reporta múltiples ventajas:

En rasgos generales, uno de los principales beneficios inherente al empleo de las técnicas de digitalización con láser 3D, es que sin necesidad de alterar/manipular el objeto obtenemos una gran precisión (0.05 mm) en un tiempo de trabajo muy reducido (unos 10 minutos por pieza).

Dentro del ámbito científico, resulta significativa la enorme gama de vías analíticas (estudios morfométricos y volumétricos, secciones en tiempo real, búsqueda de atributos tecnológicos, integración en bases de datos, etc) que podemos desarrollar con procesos de postprocesado adecuados sobre los modelos 3D. Asimismo, no debemos obviar que la enorme precisión obtenida con esta técnica, nos habilita para iniciar el estudio de los materiales arqueológicos partiendo desde una base informativa mucho más objetiva e integral, que la ofrecida por los métodos de documentación y representación “tradicionales” dominantes hasta el momento. Además, esta exactitud geométrica, facilita el establecimiento de seguimientos cíclicos (escaneados con intervalos temporales) de carácter preventivo en el ámbito de la conservación-restauración, así como la posibili-

**Conclusiones**

Sintetizando lo expuesto en los epígrafes anteriores, podemos decir que el proyecto de investigación que desarrollamos y otros similares, contribuyen positivamente a la modernización de la disciplina arqueológica, en cuanto se refiere a la incorporación de elementos para la reflexión en relación con el diseño de nuevos



dad de realizar réplicas físicas a escala real de las piezas en diferentes materiales, con fines museísticos y didácticos.

Por otro lado, en lo referente al marco divulgativo, es fundamental gestionar de manera adecuada la información obtenida con el láser 3D, de tal manera que sin perder su valor científico, pueda satisfacer la demanda cultural de nuestra sociedad. Para ello, la inclusión de las réplicas virtuales (futuros museos virtuales) de los materiales en nuevos métodos de visualización avanzada (sirvan de ejemplo VRML y audiovisuales), son una buena manera de transmitir al público en general los conocimientos y valores que posee el Patrimonio arqueológico (mediante catálogos/galerías virtuales en museos o vía Web, etc), siempre y cuando se haga con bases científicas y no con parámetros sustentados en la ciencia ficción.

Por último, subrayar que el principal inconveniente para la aplicación de estas nuevas tecnologías a la disciplina arqueológica, sigue siendo su alto coste, por lo cual a día de hoy consideramos esencial llevar a cabo estos proyectos desde la colaboración interdisciplinar entre instituciones y grupos de investigación. De esta manera, esperamos abrir nuevas líneas de investigación, relacionadas con la documentación, análisis y puesta en valor del registro material arqueológico acordes con las demandas socio-culturales actuales.

## Agradecimientos

En primer lugar, hay que decir que esta investigación ha sido posible gracias a la buena disponibilidad y colaboración prestada por el Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica (LFA) de la Universidad de Valladolid coordinado por Jesús San José Alonso.

Igualmente, cabe agradecer la ayuda recibida por el Gabinete de Prehistoria de la UAM, y especialmente al apoyo prestado por el proyecto de investigación de I+D (ref. Hum. 2007/645056) "Economía y Sociedad durante el Calcolítico de la Meseta: El yacimiento de Camino de las Yeseras" (San Fernando de Henares, Madrid). Asimismo, agradezco la labor de los directores de los trabajos de campo desarrollados en los yacimientos citados (Inmaculada Rus, Concepción Blasco y Jorge Vega).

## Bibliografía

- BENAZZI, Stefano; FANTINI, Massimiliano; DE CRESCENZIO, Francesca; PERSIANI, Franco; y GRUPPIONI, Giorgio (2009): "Improving the spatial orientation of human teeth using a virtual 3D approach". *Journal of Archaeological Science* 36, 2009, pp. 286-293.
- BLASCO, Concepción; DELIBES, Germán; BAENA, Javier; LIESAU, Corina; y RÍOS, Patricia (2007): "El poblado Calcolítico de Camino de las Yeseras (San Fernando de Henares, Madrid): Un escenario favorable para el estudio de la incidencia campaniforme en el interior peninsular". *Trabajos de Prehistoria*, 64, N° 1, pp. 151-163.
- FINAT, Javier; MARTÍNEZ, José; FERNÁNDEZ, Juan José; SAN JOSÉ, Jesús; y TAPIAS, A (2005): "Hybrid Strategies for applying Virtual Reality on Laser Scanning 3d files", en S.El-Hakim et al (eds): "Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" *The Intl. Archives of the ISPRS*, Vol. XXXVI, Part: 5/W.17, 2005.
- GROSMAN, Leore; SMIKT, Oded y SMILANSKY, Uzy (2008): "On the application of 3-D scanning technology for the documentation and typology of lithic artifacts". *Journal of Archaeological Science* 35, 2008, pp. 1-10.
- IRUJO RUIZ, D.J. y PRIETO MARTÍNEZ, M.P. (2007): "Aplicaciones 3D en cerámica prehistórica contextos arqueológicos gallegos: Un estudio sobre percepción visual". *Arqueoneb* 7 (2), 2007.
- KARASIK, Avshalom y SMILANSKY, Uzy (2008): "3D scanning technology as a standard archaeological tool for pottery analysis: practice and theory". *Journal of Archaeological Science* 35, 2008, pp. 1148-1168.
- MAFART, Bertrand; GUIPERT, Gaspard; DE LUMLEY, M<sup>a</sup> Antoinette y SUBSOL, Gérard (2004): "3D computer Imaging of hominid fossils: A new step in human evolution studies". *JACR VOL.* 55, N° 4, 2004, pp. 264-270.
- SOPENA VICIÉN, M<sup>a</sup> Cruz (2006): "La investigación arqueológica a partir del dibujo informatizado de cerámica". *Saldvie*, N° 6, 2006, pp. 13-27.
- TEJADO SEBASTIÁN, J. M<sup>a</sup> (2005): "Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: Las Nuevas Tecnologías en el registro, conservación y difusión del Patrimonio Arqueológico". *Iberia*, N° 8, 2005, pp. 135-158.