

**HACIA EL CORPUS EPIGRÁFICO DE LA BÉTICA EN 3D:
UNA APROXIMACIÓN METODOLÓGICA MEDIANTE STRUCTURE FROM
MOTION (SfM)¹**

MANUEL RAMÍREZ SÁNCHEZ
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Instituto Universitario de Análisis y Aplicaciones Textuales
manuel.ramirez@ulpgc.es

HARIDIAN GUERRA SOTO
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
haridianguerrasoto@gmail.com

¹ Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto «El hábito epigráfico antiguo y tardantiguo en la Bética occidental como indicador de la identidad del territorio» (Ref. FF12012-39395-C02-01), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (Programa Nacional de I+D+I) y del proyecto «Descifrando inscripciones romanas en 3-D: Ciencia epigráfica virtual» (Ref. FCT-13-6025), financiado por la Fundación Española de Ciencia y Tecnología del Ministerio de Economía y Competitividad. Además, tanto la redacción de este trabajo como las revisiones posteriores del mismo se han realizado durante una estancia de investigación realizada por el primero de los firmantes en el Laboratorio di Cultura Digitale de la Università di Pisa, financiada por el «Programa Salvador de Madariaga» 2015 de estancias de movilidad de profesores e investigadores españoles en centros extranjeros del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (Ref. PRX15/00462).

RESUMEN

Este trabajo ofrece un estudio de caso, centrado en cinco inscripciones romanas de la Bética occidental, que han sido digitalizadas y modeladas en 3D utilizando una tecnología de bajo coste como es el Structure from Motion (SfM). Las fotografías han sido procesadas con dos programas diferentes (Autodesk 123Catch® y Agisoft Photoscan®) con el fin de comparar los costes de ejecución y resultados finales obtenidos.

Palabras clave: epigrafía, inscripciones, digitalización, 3D, patrimonio digital.

ABSTRACT

This paper offers a case study focused on five Roman inscriptions of Western Baetica, digitized and modeled in 3D using a low-cost technology such as the Image Based Modeling (IBM). The photographs of the inscriptions have been processed with two different programs (Autodesk 123Catch® and Agisoft Photoscan®) in order to compare the costs of implementation and final results.

Keywords: epigraphy, inscriptions, digitisation, 3D, digital heritage.

1. INTRODUCCIÓN

La última década del pasado siglo trajo consigo la expansión de «epigrafía digital» en Internet. Transcurridos más de veinte años desde la aparición de los primeros recursos digitales para la investigación y divulgación del patrimonio epigráfico, podemos mirar hacia atrás y confirmar que a fines del siglo XX incurrimos en el mismo error en el que cayeron los pioneros de la epigrafía científica en el siglo XIX: conceder más importancia al texto que al propio soporte. En efecto, las bases de datos epigráficas cuyo uso se ha extendido de tal manera en los últimos años que una búsqueda simple o avanzada en ellas constituye, en muchos casos, el primer paso de cualquier investigación, han primado la lectura y transcripción de nuestros epígrafes frente a los datos físicos de los objetos o monumentos en los que estos se inscriben. Una vez más, el texto ha relegado a un plano secundario al propio monumento, algo que queda evidenciado por la ausencia de fotografías en la mayoría de los registros de estas bases de datos. Y cuando estas fotografías hacen acto de presencia su calidad es tan deficiente que, en muchos casos, apenas tienen un efecto testimonial (Ramírez 2003).

Como consecuencia del desarrollo viral de las plataformas de la llamada web 2.0 o web social, hoy en día es más fácil encontrar una buena reproducción fotográfica en cualquier de las decenas de grupos y listas de inscripcio-

nes generados en Flickr por aficionados a la arqueología o la epigrafía (Elliot 2016, 83). No deja de ser paradójico que podamos encontrar en las galerías de recursos de Wikimedia mejores fotografías que algunas de las bases de datos epigráficas que, en la mayoría de los casos, además, son absolutamente opacas a las búsquedas que se puedan realizar con buscadores genéricos como el hegemónico Google. Proyectos recientemente finalizados como el que ha volcado los recursos de muchas de estas bases de datos, a través del consorcio EAGLE, en Europeana han pretendido, en los últimos años, ayudar a solucionar esta situación (Orlandi et al., eds. 2015). Pero como suele suceder con las aplicaciones de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, la llegada a un ansiado hito ha supuesto la constatación de cuánto queda aún por hacer.

Uno de los campos en los que el progreso de la tecnología digital ha sido más veloz en los últimos años ha sido, precisamente, en el de las imágenes. Basta leer los acercamientos a la epigrafía digital reflejados en algunas obras recientes (Bodel 2012, 287-291; Elliot 2015, 83) y compararlos con los últimos avances publicados en las revistas científicas disponibles en cualquier base de datos bibliográfica (Web of Science, Scopus, etc.), para tomar conciencia de cuánto hemos avanzado en los tres últimos años, sobre todo en el campo de la digitalización y modelización 3D. Las bases de este acercamiento de la tecnología digital y la modelización 3D hay que situarlas hace diez años, cuando Alfredo Buonopane et al. (2005) experimentaron en el Museo Lapidario Maffeiiano de Verona el potencial uso del láser escáner para poder leer inscripciones como los miliarios que, tradicionalmente, tantos problemas metodológicos plantean a los estudiosos.

Como consecuencia del desarrollo que en los últimos años ha experimentado el tratamiento digital de las fotografías y el desarrollo del software que permite la modelización 3D de las imágenes sin la necesidad de que estas sean capturadas con requerimientos de hardware de elevado coste como el láser escáner, estamos asistiendo a una auténtica revolución que, en cierta medida, pronostica una «democratización» de estas técnicas. Frente a la fotografía tradicional, de carácter bidimensional, la tecnología 3D permite dar un paso hacia un nuevo concepto, el de objeto tridimensional, que permite al usuario interactuar con él, mejorando la percepción de la naturaleza de los objetos escritos y, en muchos casos, incluso, permitir una lectura de las inscripciones con un grado de realismo que solo puede superar su estudio mediante autopsia. Entre los primeros trabajos de este tipo hay que destacar las técnicas de modelización 3D de calcos epigráficos (Barmpoutis et al. 2010) o los que se han realizado de forma experimental sobre monumentos

epigráficos de época tardoantigua (Lerma, Muir 2014). Mención especial merece, por su carácter innovador, la técnica desarrollada por Hugo Pires denominada Morphological Residual Model (MRM), que puede ser aplicada tanto para estudiar restos arqueológicos en superficie o grabados rupestres (Pires et al. 2015) como inscripciones, permitiendo en el caso de estas últimas la restitución de textos sobre soportes muy erosionados que no permiten una lectura *de visu* (Correia Santos et al. 2014; 2015).

En este contexto, el proyecto Epigraphia 3D ha avanzado en la línea de experimentación de la tecnología denominada Structure from Motion (SfM) como medio de bajo coste para la documentación y difusión del patrimonio epigráfico. En una primera fase, realizada en 2014 en el Museo Arqueológico Nacional (Madrid), se fotografió medio centenar de inscripciones romanas de diversa tipología, que proporcionaron 37 modelos en 3D (Ramírez et al. 2014). En una segunda fase, realizada en 2015, se fotografiaron setenta y cinco inscripciones del Museo Nacional de Arte Romano (Mérida, Badajoz), que han proporcionado 60 modelos en 3D. En total, 97 inscripciones romanas accesibles a través de la web de difusión del proyecto en lo que constituye la mayor colección de inscripciones romanas en 3D disponible en el mundo hasta la fecha.²

La utilización del láser escáner para la digitalización de inscripciones no parece, en cualquier caso, que esté superada, ya que para algunos proyectos en los que se requiere una malla más compleja, esta tecnología sigue siendo útil. Es el caso, por ejemplo del Visionary Cross Project, impulsado por un equipo de investigadores del Istituto di Scienza e Technologie dell'Informazione "A. Faedo" (ISTI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), que ha permitido digitalizar la célebre Cruz de Ruthwell, que se conserva en la iglesia escocesa del mismo nombre, modelándola en 3D y posibilitando la lectura y transcripción del texto en escritura rúnica escrito sobre el soporte (Leoni et al. 2015). En este proyecto se ha empleado, sin embargo, tecnología de elevado coste, como es el láser scanner de triangulación Minolta Vivid 910 cuya utilización requirió tres días de trabajo de campo para obtener los 350 capturas necesarias para su procesamiento posterior en el laboratorio.³

² Esta colección de inscripciones en 3D puede verse en las Galerías del proyecto Epigraphia 3D, <http://www.epigraphia3d.es> [Consulta: 06/05/2016].

³ Más información en la página web de difusión del proyecto: <http://www.visionarycross.org> [Consulta: 06/05/2016].

En cualquier caso, la técnica SfM permite la digitalización y modelización 3D a muy bajo coste que, a través de la utilización de herramientas de publicación en la web social que cumplen el estándar Web GL, como Sketchfab, está siendo utilizada, de forma experimental, por algunos museos arqueológicos.⁴ Mención especial merece el Museo Virtual de Los Bañales, presentado en la UNED-Tudela en abril de 2016, que en el momento de redactar la versión final de este trabajo casi alcanza la cifra de 30 objetos digitales, entre inscripciones, estructuras arquitectónicas, esculturas y otros restos materiales procedentes del yacimiento romano de Los Bañales (Uncastillo, Zaragoza) y alrededores.⁵ Algunas instituciones, como el consorcio UN Digital Heritage, en el Reino Unido, permiten la descarga (previo pago), de su colección de modelos 3D para su impresión o uso comercial.⁶

En el contexto actual, consideramos oportuno abrir el camino de la investigación experimental en el campo de la digitalización del patrimonio digital de Hispania, y en particular de la Bética, con el objeto de que en los próximos años sea posible realizar una digitalización y modelización en 3D de las principales colecciones epigráficas de los Museos andaluces, como parte del proceso de documentación y difusión del mismo (Ramírez 2016). Sin embargo, como paso previo a la realización del corpus epigráfico de la Bética en 3D es esencial conocer las limitaciones, pero sobre todo, los costes de un proyecto tan ambicioso.

⁴ Es el caso, por ejemplo, del British Museum <<https://sketchfab.com/britishmuseum>>, Mus. En España, hasta la fecha uno de los museos que ha sabido aprovechar mejor el potencial de estos recursos y su difusión en la plataforma Sketchfab es el Museo d'Arqueologia de Catalunya que, en el momento de redactar estas líneas, dispone de 46 objetos digitales en 3D en su galería <<https://sketchfab.com/macb3d>> [Consulta: 06/05/2016]. Cabe destacar también la colección en 3D del Museo de Pontevedra <<https://sketchfab.com/museodepontevedra>> y, en Portugal, el Museo Cidade de Ammaia <<https://sketchfab.com/ammaia>> [Consulta: 06/05/2016].

⁵ El proyecto «Museo Virtual de Los Bañales» está dirigido por Javier Andreu Pintado (Universidad de Navarra) y los trabajos de digitalización y modelización 3D han sido realizados por Pablo Serrano: <<http://www.losbanales.es/indexmuseo.html>> [Consulta: 06/05/2016]. Los objetos 3D se difunden a través de la plataforma Sketchfab: <<https://sketchfab.com/banalesmuseovirtual>> [Consulta: 06/05/2016].

⁶ Entre los objetos digitales se encuentra una selección de inscripciones romanas procedentes de diversos yacimientos cercanos al muro de Adriano <<http://www.nu-digitalheritage.com>> [Consulta: 06/05/2016].

2. METODOLOGÍA EMPLEADA

Una vez confirmado el interés que poseen las técnicas Image Based Modeling (IBM) y Structure from Motion (SfM) para la documentación digital del patrimonio epigráfico (Ramírez et al. 2014; 2015), consideramos que puede ser útil la experimentación con distintas alternativas de software, tanto libre como comercial, con el objeto de que los epigrafistas sepan escoger la opción que mejor se adapte a sus intereses. A tal fin, ofrecemos en este trabajo un estudio de caso, basado en la comparativa de Autodesk 123D Catch[®], una excelente alternativa de software libre cuyos óptimos resultados ya hemos puesto de relieve en otros trabajos frente a una alternativa de software comercial, como Agisoft Photoscan[®].⁷ Aunque se han realizado algunos estudios comparativos de este tipo aplicados a inscripciones romanas (Mittica et al. 2014), la muestra era tan reducida que hemos considerado oportuno realizar una experimentación más amplia que confirme el potencial interés de ambos productos para la investigación y difusión del patrimonio epigráfico.

Autodesk 123D Catch[®] permite la realización de modelos 3D de cierta complejidad sin necesidad de instalar ningún tipo de software en el equipo, ya que trabaja directamente en la nube (cloud computing), lo que constituye una ventaja ya que no requiere un equipamiento de altas prestaciones. Como contrapartida, este software requiere conexión a la red, sin que sea un aspecto crítico el ancho de banda disponible. Por su parte, Agisoft Photoscan[®] es una alternativa de software comercial que trabaja en remoto, por lo que se hace necesaria la instalación de software en un equipo, con unas prestaciones medias. El programa tiene dos versiones, una estándar, que permite utilizar la mayoría de las funcionalidades, y una Profesional, destinada a usuarios que requieren funcionalidades muy avanzadas. Para la experimentación realizada en este trabajo se ha utilizado la versión estándar, instalada en el equipo en versión de prueba.⁸

⁷ Autodesk 123D Catch[®] es producido por CAD/CAM Software, con sede central en San Rafael (California, USA) <<http://www.123dapp.com>> [Consulta: 06/05/2016].

⁸ Agisoft Photoscan es producido por Agisoft LLC, con sede central en San Petersburgo (Rusia) <<http://www.agisoft.com>>. Cuenta con una licencia para uso educativo, de menor coste que la licencia comercial [Consulta: 06/05/2016].

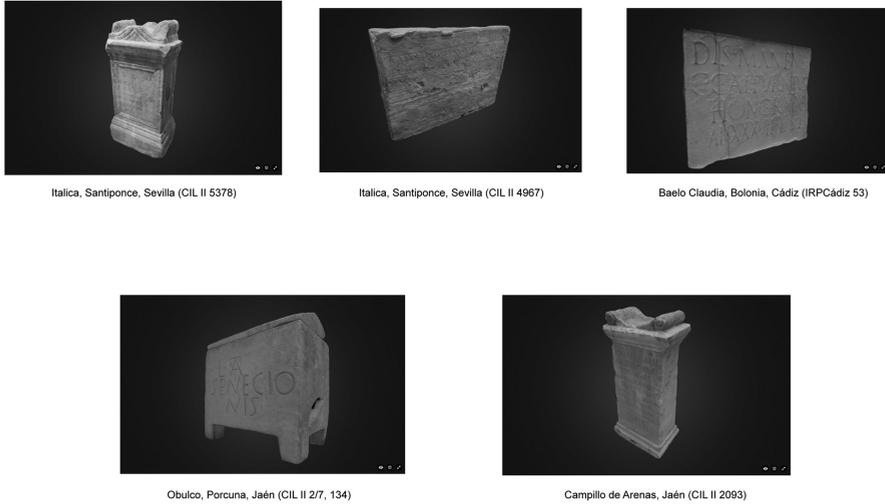


FIGURA 1. Miniaturas de los objetos digitales en 3D de las cinco inscripciones estudiadas.

Las fotografías digitales que han sido procesadas en este trabajo fueron realizadas en el trabajo de campo realizado en el Museo Arqueológico Nacional (Madrid), en marzo de 2014. Se utilizó una cámara réflex digital Canon EOS 5DMark II en modo manual y los mejores resultados se obtuvieron con la luz neutra (blanca) que proporcionaba la sala 20 del Museo. Las fotografías se realizaron en las salas de exposición del propio Museo, ya que algunas de las piezas ya estaban situadas en la exposición y no era posible moverlas de su ubicación. Es el caso, por ejemplo, de la primera de las cinco inscripciones estudiadas, el ara funeraria procedente de Itálica (Figura 2.1) que debió fotografiarse en la sala 21 de la planta 1, bajo luz artificial. Las cuatro inscripciones restantes (Figuras 2.2 a 2.5) fueron fotografiadas en la sala 20 (patio romano) de la planta 1, con luz blanca. Por su parte, el trabajo de modelizado 3D, renderización y edición de la malla, se ha realizado con un ordenador portátil con las siguientes características técnicas: procesador Intel Core i5-2410M (2x2,30 Ghz / 3 Mb caché), 4 Gb de memoria RAM, HDD de 500 GB (5400 rpm), pantalla de 15,6» con resolución de 1366 x 768, y tarjeta gráfica nVidia GT 520M de 512 MB GDDR3 (dedicada).

El procedimiento de trabajo, desde el fotografiado de la inscripción hasta su difusión en Internet ya ha sido explicado en trabajos anteriores a los que remitimos (Ramírez et al. 2014; 2015), pero en cualquier caso, mencionamos aquí los pasos principales: 1. Fotografiado de la inscripción; 2. Procesamiento fotográfico con herramientas de modelización 3D (en este trabajo comparamos, como ya se ha dicho, el rendimiento de Autodesk 123D Catch[®] y Agisfot Photoscan[®]); 3. Edición y reparación de la malla del objeto (en la experimentación hemos utilizado Blender[®], un programa libre de código abierto); 4. Tratamiento de texturas con un editor de gráficos rasterizados (en este trabajo hemos utilizado Photoshop CS4[®], pero se puede utilizar cualquier software alternativo de código abierto); 5. Publicación y difusión en Internet (a través de la plataforma Sketchfab).

2.1. Ara funeraria de Itálica (CIL II, 5378)

Ara funeraria realizada en un solo bloque de mármol (64 x 28 x 17 cm), con frontón triangular y *pulvini* laterales en su cabecera. El campo epigráfico está rehundido y delimitado por una doble moldura. En los laterales del monumento, también dentro de molduras, una jarra y una patera. La parte posterior del cuerpo central está lisa, aunque tanto la base como la cabecera están molduradas. Se exhibe en la sala 21 del Museo Arqueológico Nacional (nº inv.: 16.519).

Se han procesado un total de 36 fotografías tomadas al monumento, desde diversos ángulos y posiciones durante un espacio de tiempo de 20 minutos. Las condiciones de luz no eran las más adecuadas, ya que la inscripción no pudo moverse de su emplazamiento en la sala 21 del Museo, lo que explica los niveles anaranjados del modelo en 3D, que no pudieron ser bien corregidos con el tratamiento digital de las fotografías originales.

El tiempo de procesamiento fotográfico con Autodesk 123D Catch[®] para la obtención de la malla del objeto en 3D alcanzó 30 minutos. La edición y tratamiento de la malla basada en triángulos se realizó con Blender[®] durante 100 minutos de trabajo. El resultado final fue un modelo 3D de 0,93 MB con 10.291 vértices y 20.596 caras, que es el que se puede visualizar en la página web del proyecto.⁹

⁹ Inscripción nº 16. Epitafio de Licinia Licinilla: <<http://www.epigraphia3d.es/3d-16.html>> [Consulta: 06/05/2016].

El procesamiento con Agisoft Photoscan® ha sido muy superior en tiempo, alcanzado los 360 minutos de procesamiento para obtener la malla tridimensional, lo que supone 12 veces más tiempo de trabajo de máquina. Por contra, el trabajo posterior de edición de la malla con Blender® no pasó de 85 minutos de trabajo, por tanto un 15% de tiempo menor con respecto al modelo realizado con Autodesk 123D Catch®. En total, la obtención del modelo 3D con Agisoft Photoscan® ha alcanzado los 465 minutos de trabajo, lo que constituye 3,1 veces más de tiempo que con Autodesk 123D Catch®. Sin embargo, el resultado final es muy superior, tanto en el tamaño final del modelo (11,34 MB), como en el número de vértices de la malla (147.510) y caras del objeto tridimensional (294.987), lo que supone que multiplica el resultado entre 13 y 14 veces con respecto al software alternativo.¹⁰

2.2. Ladrillo con grafito de Itálica (CIL II, 496731; CILA II, 583)

Ladrillo de arcilla (22 x 29 x 4,5 cm), con un texto que reproduce el comienzo de La Eneida de Virgilio, realizado con escritura cursiva sobre una de sus caras principales (altura de las letras, 2,8-0,5). Se exhibe en la sala 20 del Museo Arqueológico Nacional, dentro de un expositor (nº inv.: 16.734).

La cantidad de fotografías seleccionadas para ser procesadas asciende a 22, realizadas por un espacio de tiempo de 15 minutos. Las fotografías se realizaron en la sala 20 del Museo (patio romano), tras colocar el ladrillo sobre una mesa, lo que permitió que pudiera fotografiarse con luz blanca.

El tiempo de procesamiento fotográfico con Autodesk 123D Catch® para la obtención de la malla del objeto en 3D se realizó en 20 minutos. Sin embargo, la edición y tratamiento de la malla basada en triángulos realizada con Blender® se extendió durante 120 minutos de trabajo. El resultado final ha sido un modelo 3D de 0,71 MB con 4.591 vértices y 9.172 caras.¹¹

El procesamiento con Agisoft Photoscan®, en cambio, ha sido levemente superior en tiempo, alcanzando los 50 minutos de procesamiento para obtener la malla 3D. Sin embargo, el trabajo de edición de la malla con Blender®

¹⁰ La comparativa entre el resultado final de ambos modelos en 3D puede comprobarse en la plataforma Sketchfab: versión Autodesk 123D Catch® <<https://skfb.ly/zOOv>> frente a versión procesada con Agisoft Photoscan® <<https://skfb.ly/LuVs>> [Consulta: 06/05/2012].

¹¹ Inscripción nº 19. Ladrillo con grafito: <<http://www.epigraphia3d.es/3d-19.html>> [Consulta: 06/05/2016].

se ha realizado en 120 minutos, tiempo idéntico al realizado con Autodesk 123D Catch[®]. En total, la obtención del modelo 3D con Agisoft Photoscan[®] ha alcanzado 185 minutos de trabajo, 30 minutos más de tiempo que con Autodesk 123D Catch[®]. El resultado final, en cambio, es muy superior, tanto en el tamaño final del modelo (18,91 MB), como en el número de vértices de la malla (309.805) y caras del objeto tridimensional (619.599), multiplicando 67,5 veces los resultados obtenidos con Autodesk 123D Catch[®].¹²

2.3. Placa funeraria de Baelo (IRPCa, 53; IRBC, 21)

Placa funeraria de mármol (16,5 x 20 x 2 cm), con el epitafio escrito con letras capitales cuadradas de buena factura (altura de las letras, 2,6 cm). Se exhibe en la sala 21 del Museo Arqueológico Nacional, dentro del expositor que representa un *columbarium* (nº inv.: 38.377).

La cantidad de fotografías seleccionadas para ser procesadas asciende a 25 fotografías, realizadas por un espacio de tiempo de 15 minutos. Las fotografías se realizaron en la sala 21 del Museo (patio romano), tras colocar la placa sobre una mesa, lo que permitió que pudiera fotografiarse con luz blanca.

El tiempo de procesamiento fotográfico con Autodesk 123D Catch[®] para la obtención de la malla del objeto en 3D se realizó en 20 minutos. Sin embargo, la edición y tratamiento de la malla basada en triángulos realizada con Blender[®] se extendió durante 150 minutos de trabajo, a pesar de que la placa no tenía especial dificultad. El resultado final ha sido un modelo 3D de 0,42 MB con 2.069 vértices y 4.154 caras.¹³

El procesamiento con Agisoft Photoscan[®], en cambio, ha sido levemente superior en tiempo, alcanzando los 35 minutos de procesamiento para obtener la malla tridimensional, lo que supone casi el doble de tiempo de trabajo de máquina. Por contra, el trabajo posterior de edición de la malla con Blender[®] se ha extendido durante 130 minutos, por tanto sensiblemente inferior con respecto al modelo realizado con Autodesk 123D Catch[®]. En total, la

¹² La comparativa entre el resultado final de ambos modelos en 3D se puede comprobar en la plataforma Sketchfab: versión Autodesk 123D Catch[®] <<https://skfb.ly/zOOy>> frente a versión procesada con Agisoft Photoscan[®] <<https://skfb.ly/LwxM>> [Consulta: 06/05/2012].

¹³ Inscripción nº 23. Epitafio de C. Calpurnius Honoratus: <<http://www.epigraphia3d.es/3d-21.html>> [Consulta: 06/05/2016].

obtención del modelo 3D con Agisoft Photoscan® ha alcanzado 180 minutos de trabajo, cinco minutos menos de tiempo que con Autodesk 123D Catch®. El resultado final, en cambio, es muy superior, tanto en el tamaño final del modelo (9,57 MB), como en el número de vértices de la malla (141.762) y caras del objeto tridimensional (283.516), multiplicando 68 veces los resultados obtenidos con Autodesk 123D Catch®.¹⁴

2.4. Urna funeraria de Obulco (CIL II², 7, 134).

Urna funeraria de piedra caliza de forma rectangular, con tapa en el mismo material (36 x 31 x 18 cm), sin decoración y campo epigráfico sin delimitar sobre una de sus dos caras mayores (letras de 4,5 cm de altura). Se exhibe en la sala 21 del Museo Arqueológico Nacional, dentro del expositor que representa un *columbarium* (nº inv.: 37.368).

Se han procesado 28 fotografías realizadas a la urna funeraria, con la tapa cerrada, desde diversos ángulos y posiciones durante un espacio de tiempo de 25 minutos. La parte más dificultosa para fotografías fue la parte inferior de la urna, ya que las cuatro patas sobre las que esta se apoya introducían una complejidad añadida. Las fotografías se realizaron en la sala 21 del Museo (patio romano), al colocar la urna sobre una mesa, lo que permitió que pudiera fotografiarse con luz blanca.

El tiempo de procesamiento fotográfico con Autodesk 123D Catch® para la obtención de la malla del objeto en 3D alcanzó 30 minutos. Sin embargo, la edición y tratamiento de la malla basada en triángulos realizada con Blender® se extendió durante 350 minutos de trabajo, debido sobre todo al trabajo de edición y corrección de la malla de la parte inferior de la urna. El resultado final ha sido un modelo 3D de 1,84 MB con 3.225 vértices y 6.441 caras, como se puede visualizar en la página web del proyecto.¹⁵

Por su parte, el procesamiento con Agisoft Photoscan® ha sido superior en tiempo, alcanzando los 210 minutos de procesamiento para obtener la malla tridimensional, lo que supone siete veces más tiempo de trabajo de máquina.

¹⁴ La comparativa entre el resultado final de ambos modelos en 3D puede comprobarse en la plataforma Sketchfab: versión Autodesk 123D Catch® <<https://skfb.ly/zOOx>> frente a versión procesada con Agisoft Photoscan® <<https://skfb.ly/LuVG>> [Consulta: 06/05/2012].

¹⁵ Inscripción nº 23. Epitafio de L. Pap(iri)us? Senecio: <<http://www.epigraphia3d.es/3d-23.html>> [Consulta: 06/05/2016].

Por contra, el trabajo posterior de edición de la malla con Blender[®] ha sido de 320 minutos de trabajo, por tanto sensiblemente inferior con respecto al modelo realizado con Autodesk 123D Catch[®]. En total, la obtención del modelo 3D con Agisoft Photoscan[®] ha alcanzado 555 minutos de trabajo, lo que constituye un 27% más de tiempo que con Autodesk 123D Catch[®]. Sin embargo, el resultado final es muy superior, tanto en el tamaño final del modelo (14,78 MB), como en el número de vértices de la malla (242.702) y caras del objeto tridimensional (285.391), lo que supone que multiplica el resultado 75 veces con respecto al software alternativo.¹⁶

2.5. Ara votiva a Salus, de Campillo de Arenas, Jaén (CIL II 2093; CILA III, 586) n° 29

Ara votiva realizada en un solo bloque de piedra caliza (59 x 22,5 x 15,5 cm), con *pulvini* laterales en su cabecera. El campo epigráfico, en el cuerpo central del monumento, carece de delimitación alguna. Tanto los laterales derecho e izquierdo como la parte posterior del mismo carecen de decoración, con la salvedad de las molduras de la cabecera y la base. La inscripción se conserva en los almacenes del Museo Arqueológico Nacional (n° inv.: 16.517).

Para la realización del modelado 3D de la inscripción se han procesado un total de 20 fotografías, que fueron realizadas conforme al procedimiento habitual, durante 20 minutos de tiempo. Las fotografías se realizaron en la sala 21 (patio romano) del Museo, con luz blanca, colocando el soporte en posición vertical.

El tiempo de procesamiento fotográfico con Autodesk 123D Catch[®] para la obtención de la malla del objeto en 3D se ha realizado en 25 minutos. Sin embargo, la edición y tratamiento de la malla basada en triángulos con Blender[®] se ha realizado durante 150 minutos de trabajo. El resultado final es un modelo 3D de 0,90 MB con 6.104 vértices y 12.204 caras, como se puede ver en la página web del proyecto.¹⁷

¹⁶ La comparativa entre el resultado final de ambos modelos en 3D puede comprobarse en la plataforma Sketchfab: versión Autodesk 123D Catch[®] <<https://skfb.ly/zNF8>> frente a versión procesada con Agisoft Photoscan[®] <<https://skfb.ly/L8Wp>> [Consulta: 06/05/2012].

¹⁷ Inscripción n° 29. Dedicatoria a Salus: <<http://www.epigraphia3d.es/3d-29.html>> [Consulta: 06/05/2016].

El procesamiento con Agisoft Photoscan[®] ha sido muy superior en tiempo, alcanzando los 140 minutos de procesamiento para obtener la malla tridimensional, lo que supone 5,6 veces más tiempo de trabajo de máquina. Por contra, el trabajo posterior de edición de la malla con Blender[®] ha sido de 125 minutos, por tanto sensiblemente inferior con respecto al modelo realizado con Autodesk 123D Catch[®]. En total, la obtención del modelo 3D con Agisoft Photoscan[®] se ha realizado en 285 minutos de trabajo, lo que constituye casi el doble de tiempo que con Autodesk 123D Catch[®]. Sin embargo, el resultado final es muy superior, tanto en el tamaño final del modelo (20,28 MB), como en el número de vértices de la malla (316.467) y caras del objeto tridimensional (632.931), multiplicando así 51 veces el resultado alcanzado con el software alternativo.¹⁸

3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se observa que en el 100% de los casos estudiados, el tiempo de procesamiento, renderización y edición es superior con Agisoft Photoscan[®] que con Autodesk 123D Catch[®]. Sin embargo, un análisis detenido, como el que hemos realizado, permite comprobar que algunas diferencias son más importantes que otras, debido a las diferencias que presentan cada una de las cinco inscripciones estudiadas. Además, este incremento en el tiempo de trabajo de Agisoft Photoscan[®] con respecto a Autodesk 123D Catch[®], no es un aspecto crítico de la comparativa, si tenemos en cuenta que mide trabajo de máquina y no del usuario del software (Tabla 1). En cambio, sí resulta muy interesante comparar los tiempos de edición y retoque de la malla de los objetos con Blender[®], comparando los resultados obtenidos sobre las mallas obtenidas con Autodesk 123D Catch[®] frente a las obtenidas con Agisoft Photoscan[®].

¹⁸ La comparativa entre el resultado final de ambos modelos en 3D puede comprobarse en la plataforma Sketchfab: versión Autodesk 123D Catch[®] <<https://skfb.ly/zOOA>> frente a versión procesada con Agisoft Photoscan[®] <<https://skfb.ly/LuWo>> [Consulta: 06/05/2012].

| Nº | Total fotos | Tiempo Fotografiado | Tiempo Autodesk | Tiempo Blender | Tiempo total Autodesk | Tiempo Photoscan | Tiempo Blender | Tiempo total Photoscan |
|----|-------------|---------------------|-----------------|----------------|-----------------------|------------------|----------------|------------------------|
| 1 | 36 | 20 | 30 | 100 | 150 | 360 | 85 | 465 |
| 2 | 22 | 15 | 20 | 120 | 155 | 50 | 120 | 185 |
| 3 | 25 | 15 | 20 | 150 | 185 | 35 | 130 | 180 |
| 4 | 28 | 25 | 30 | 350 | 405 | 210 | 320 | 555 |
| 5 | 26 | 20 | 25 | 150 | 195 | 140 | 125 | 285 |

TABLA 1. Comparativa del tiempo de ejecución (en minutos) de las tareas de fotografiado, modelado 3D y edición de los objetos digitales de las cinco inscripciones romanas de la Bética utilizadas en esta experimentación.

Si observamos los datos recogidos en la Tabla 1, podemos comprobar que en cuatro de los cinco casos analizados (inscripciones 1 y 3-5, los tiempos de edición y retoque con Blender son inferiores cuando la malla se ha realizado con Agisoft Photoscan®. Y en el caso de la inscripción nº2 de este estudio, el tiempo de trabajo con Blender® ha sido el mismo. Esta reducción del tiempo de trabajo requerido en Blender® cuando se trabajan mallas generadas con Agisoft Photoscan® se debe a que las figuras tienen un mayor grado de definición, por lo que el trabajo de edición de los triángulos y la eliminación de puntos es mucho más rápida.

Respecto al producto final generado por ambos productos, se observa que Agisoft Photoscan® proporciona modelos 3D con una cantidad de vértices y de caras que, en algunos casos, multiplica 75 veces los resultados obtenidos por Autodesk 123D Catch®. En cambio, las diferencias no son tan grandes cuando comparamos el tamaño final de los archivos en formato OBJ, ya que la diferencia no va más allá de 20 x (Tabla 2).

| Nº | Tamaño Autodesk | Vértices Autodesk | Caras Autodesk | Tamaño Photoscan | Vértices Photoscan | Caras Photoscan |
|----|-----------------|-------------------|----------------|------------------|--------------------|-----------------|
| 1 | 0,93 | 10.291 | 20.596 | 11,34 | 147.510 | 294.987 |
| 2 | 0,71 | 4.591 | 9.172 | 18,91 | 309.805 | 619.599 |
| 3 | 0,42 | 2.069 | 4.154 | 9,57 | 141.762 | 283.516 |
| 4 | 1,84 | 3.225 | 6.441 | 14,78 | 242.702 | 485.391 |
| 5 | 0,90 | 6.104 | 12.204 | 20,28 | 316.467 | 632.931 |

TABLA 2. Comparativa del tamaño final del archivo en formato OBJ (en MB), así como del número de vértices y caras.

La comparación del resultado final de la misma inscripción en 3D, según haya sido procesada y renderizada con uno u otro software, se puede observar a través de los ejemplos que hemos publicado en la plataforma Sketchfab. Además de las evidentes diferencias en el mayor grado de realismo que proporcionan las fotografías procesadas con Agisoft Photoscan[®], se observa que en modo de vista Wireframe, las diferencias son aun más evidentes. Como ejemplo, véase la malla de triángulos que posee la urna funeraria de Obulco procesada con Autodesk 123D Catch[®] (Figura 2) y compárese con la que ofrece la misma inscripción, procesada Agisoft Photoscan[®] (Figura 3). En efecto, un análisis minucioso permite reconocer la adaptatividad de la malla generada (Suárez et al. 2001), ya que los modelos obtenidos poseen una superficie adecuada a la propia naturaleza del soporte epigráfico, en la que es posible reconocer los puntos y triángulos que la representan (Padrón et al. 2007; Márquez et al. 2014).

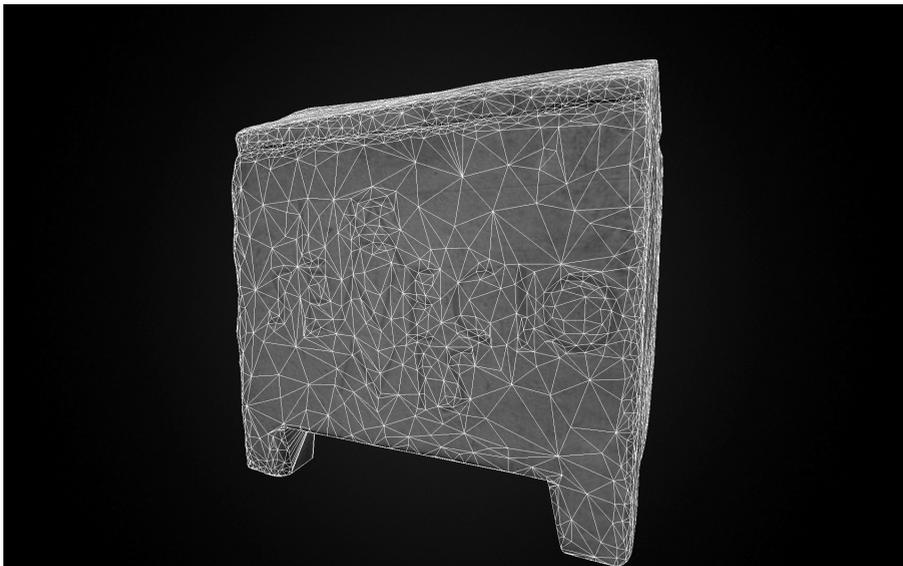


FIGURA 2. Representación 3D de una urna funeraria de Obulco (CIL II², 7, 134) generada con Autodesk 123D Catch[®]. Se observan en blanco, sobre la textura de la inscripción, los puntos y triángulos de la malla generada.

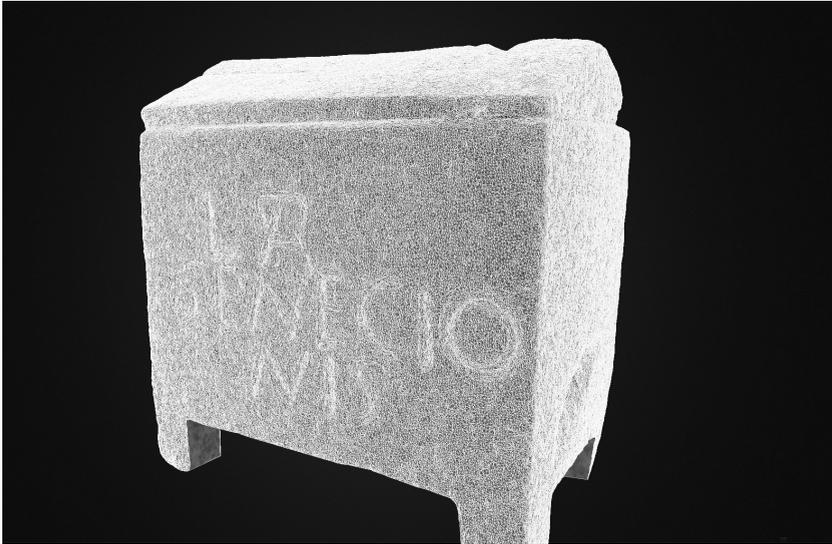


FIGURA 3. Representación 3D de la misma inscripción, pero en este caso generada con Agisoft Photoscan®. Como se puede observar, los puntos y triángulos son más numerosos y generan una malla más tupida.

CONCLUSIONES

La tecnología 3D realizada con presupuestos ajustados y sin necesidad de un equipamiento avanzado es ya una realidad. En los próximos años el escenario seguirá modificándose a gran velocidad, mediante la introducción de software que, de manera gradual, vaya reduciendo la curva de aprendizaje a los nuevos usuarios, sobre todo cuando las inscripciones que deban ser digitalizadas no tengan especial complejidad, ni en su accesibilidad ni en sus características geométricas. La bases de datos epigráficas actualmente existentes nacieron en un momento en el que nadie podía sospechar el desarrollo que iba a alcanzar la fotografía digital. Conviene comenzar a avanzar en su progresiva reconversión, no solo en la línea de los datos enlazados y la web semántica, sino también en la incorporación de formatos de imagen en 3D, como ya han empezado a hacer, en otras parcelas de la investigación, los arqueólogos (Galeazzi 2016; Remondino et al. 2014).

Sin duda, un aspecto crítico en proyectos como la realización de un futuro corpus epigráfico de la Bética en 3D pasa por su coste económico, tanto

en requisitos de hardware, como de software. Pero sobre todo, en algo que, como siempre nos han dicho, vale oro. Con este trabajo experimental hemos querido poner sobre la mesa el coste en horas que puede suponer acometer en un futuro más o menos cercano un proyecto de digitalización de esta naturaleza. El estudio comparativo de dos alternativas de software diferentes, como Autodesk 123D Catch® y Agisoft Photoscan® permiten confirmar, al menos sobre la muestra estudiada, que la segunda alternativa ofrece unos resultados mucho más potentes (tanto en calidad de imagen como en definición de la malla) que, aunque suponen un incremento en el tiempo de renderización de las inscripciones, puede ayudar incluso a reducir sensiblemente los tiempos de edición y reparación de la malla con el software Blender®.

Entre los futuros retos que hay que alcanzar se encuentra la búsqueda de alternativas de visualización 3D que cumplan los requisitos de la tecnología WebGL, que permita visualizar los gráficos 3D en navegadores web multiplataforma, sin necesidad de instalar plugins de ningún tipo. Sin duda, plataformas como Sketchfab pueden ser una solución rápida y económica para museos e instituciones, pero debemos empezar a valorar nuevos escenarios (Potenziani et al. 2015).

Esperamos que un futuro nuevos trabajos de experimentación como el que hemos realizado aquí, ya sea con nuevas inscripciones, ya sea con otras alternativas de software, permitan ir despejando el camino que nos permita alcanzar, en el menor tiempo posible, el desarrollo de proyectos digitales que permitan a los investigadores y al público en general acceder a unos recursos que, hace tan sólo unas décadas, parecían impensables para la mayoría de nosotros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BODEL, John (2012). «Latin Epigraphy and the IT Revolution», en: DAVIES, John K.; WILKES, John J. (eds.). *Epigraphy and the Historical Sciences*. Oxford: Oxford University Press, 275-296.
- BUONOPANE, Alfredo; GROSSI, Piergiiovanna; GUARNIERI, Alberto; PIROTTI, Francesco (2005). «L'impiego del laser scanner nel rilievo delle iscrizioni sui miliari», en BERTINELLI-ANGELI, Maria Gabriella; DONATI, Angela (eds.). *Misurare il tempo. Misurare lo spazio. Atti dil Coloquio AIEGL-Borghesi*. Faenza: Fratelli Lega Editori, 373-388.
- BARPOUTIS, Angelos; BOZIA, Eleni; WAGMAN, Robert S. (2010). «A novel framework for 3D reconstruction and analysis of ancient inscriptions», *Journal of Machine Vision and Applications* 21/6, 989-998.

- CORREIA SANTOS, Maria João; SOUSA, Orlando; PIRES, Hugo (2014). «Nuevas lecturas de las inscripciones del santuario de Panóias (Vila Real, Portugal)», *Sylloge Epigraphica Barcinonensis* 12, 197-224.
- CORREIA SANTOS, Maria João; SOUSA, Orlando; PIRES, Hugo; FONTE, João; GONÇALVES-SECO, Luís (2015). «Travelling back in Time to Recapture Old Texts. The use of Morphological Residual Model (M.R.M.) for epigraphic Reading: four case studies (CIL 02, 02395a, CIL 02, 02395c, CIL 02, 02476, CIL 02, 05067)», en: ORLANDI, Silvia; SANTUCCI, Raffaella; CASAROSA, Vittore; LIUZZO, Pietro Maria (eds.). *Information Technologies for Epigraphy and Cultural Heritage. Proceedings of the First EAGLE International Conference*, Roma: Sapienza Università Editrice, 437-454.
- ELLIOT, Tom (2015). «Epigraphy and Digital Resources», en: BRUUN, Ch.; EDMONDSON, J. (eds.), *The Oxford Handbook of Roman Epigraphy*, New York: Oxford University Press, 78-85.
- GALEAZZI, Fabrizio (2016). «Towards the definition of best practices in archaeology: Assessing 3D documentation techniques for intra-site data recording», *Journal of Cultural Heritage* 17, 159-169.
- LERMA, José Luis; MUIR, Colin (2014). «Evaluating the 3D documentation of an early Christian upright Stone with carvings from Scotland with multiple images», *Journal of Archaeological Science* 46, 311-318.
- LEONI, Chiara; CALLIERI, Marco; DELLEPIANE, Matteo; O'DONNELL, Daniel Paul; DEL TURCO, Roberto Rosselli; SCOPIGNO, Roberto (2015). «The Dream and the Cross: A 3D Scanning Project to Bring 3D Content in a Digital Edition», *Journal on Computing and Cultural Heritage* 8, art. 5 <<http://dx.doi.org/10.1145/2686873>>.
- MÁRQUEZ, Alberto; MORENO-GONZÁLEZ, Auxiliadora; PLAZA, Ángel; SUÁREZ, José Pablo (2014). «There are simple and robust refinements (almost) as good as Delaunay», *Mathematics and Computers in Simulation* 106, 84-94.
- MITTICA, Daniele; PELLEGRINO, Michele; ROCCO, Anita (2014). «Low-cost Structure from Motion Technology: An open approach for epigraphical digital reconstruction», en: ORLANDI, Silvia; SANTUCCI, Raffaella; CASAROSA, Vittore; LIUZZO, Pietro Maria (eds.). *Information Technologies for Epigraphy and Cultural Heritage. Proceedings of the First EAGLE International Conference*, Roma: Sapienza Università Editrice, 401-420.
- ORLANDI, Silvia; SANTUCCI, Raffaella; CASAROSA, Vittore; LIUZZO, Pietro Maria (eds.) (2015). *Information Technologies for Epigraphy and Cultural Heritage. Proceedings of the First EAGLE International Conference*, Roma: Sapienza Università Editrice.

- PADRÓN, Miguel Á.; SUÁREZ, José Pablo; PLAZA, Ángel (2007). «Refinement based on longest-edge and self-similar four-triangle partitions», *Mathematics and Computers in Simulation* 75 (5-6), 251-262.
- PIRES, Hugo; FONTE, João; GONÇALVES-SECO, Luís; CORREIA SANTOS, Maria João; SOUSA, Orlando (2014). «Morphological Residual Model. A Tool for Enhancing Epigraphic Readings of Highly Eroded Surfaces», en: ORLANDI, Silvia; SANTUCCI, Raffaella; CASAROSA, Vittore; LIUZZO, Pietro Maria (eds.). *Information Technologies for Epigraphy and Cultural Heritage. Proceedings of the First EAGLE International Conference*, Roma: Sapienza Università Editrice, 133-144.
- POTENZIANI, Marco; CALLIERI, Marco; DELLEPIANE, Matteo; CORSINI, Massimiliano; PONCHIO, Federico; SCOPIGNO, Roberto (2015). «3DHOP: 3D Heritage Online Presenter», *Computers & Graphics* 52, 129-141.
< <http://dx.doi.org/10.1016/j.cag.2015.07.001>>.
- RAMÍREZ-SÁNCHEZ, Manuel (2003). «Recursos de epigrafía y numismática en internet: balance actual y perspectivas en España», *Boletín Millares Carlo* 22, 275-301.
- (2016). «Las Ciencias y Técnicas Historiográficas en el contexto de las Humanidades Digitales: oportunidades para su desarrollo», en: MARCHANT RIVERA, Alicia; BARCO CEBRIÁN, Lorena (eds.). «Dicebamus hesterna die...» *Estudios en homenaje a los profesores Pedro J. Arroyal Espigares y M^a Teresa Martín Palma*, Málaga: Universidad de Málaga, 365-392.
- RAMÍREZ-SÁNCHEZ, Manuel; GARCÍA SÁNCHEZ, Manel; GIRALT SOLER, Sebastià (2015). «Epigraphia 3D. Un proyecto de innovación científica en la divulgación del patrimonio epigráfico de Hispania», *Epigraphica* 77, 371-396.
- RAMÍREZ-SÁNCHEZ, Manuel; SUÁREZ-RIVERO, José Pablo; CASTELLANO-HERNÁNDEZ, María Ángeles (2014). «Epigrafía digital: tecnología 3D de bajo coste para la digitalización de inscripciones y su acceso desde ordenadores y dispositivos móviles», *El profesional de la información* 23/5, 467-474 <<http://dx.doi.org/10.3145/epi.2014.sep.03>>.
- SUÁREZ-RIVERO, José Pablo; CAREY, Graham F.; PLAZA, Ángel (2001). «Graph based data structures for skeleton based refinement algorithms», *Communication in Numerical Methods in Engineering* 17(12), 903-910.
- REMONDINO, Fabio; CAMPANA, Stefano (eds.) (2014). *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and best practices*. Oxford: Archaeopress (BAR International Series 2598).