

## Interoperabilidad de la fotogrametría en modelado 3D: documentación, investigación y difusión en el yacimiento de Jamila

### Interoperability of photogrammetry in 3D modeling: documentation, research and dissemination in the archaeological site of Jamila

Pedro R. Moya-Maleno, Juan Tormejón Valdelomar, David Vacas Madrid y Rocío Losa Sánchez

<sup>1</sup>Proyecto Arqueológico 'Entorno Jamila'. entornojamila@gmail.com

---

#### **Resumen**

*Este artículo muestra teórica y prácticamente un protocolo para el uso de los recursos fotogramétricos en modelado tridimensional arqueológico. De este modo y de una forma relativamente asequible, es posible compilar, sistematizar, utilizar y compartir los archivos generados –fotogramétricos y 3D– tanto para trabajar con hipótesis, como para universalizar el conocimiento, ya sea con repositorios en red para especialistas o para facilitar la didáctica y difusión de la Historia y la Arqueología. Como ejemplo se exponen las posibilidades y problemas intrínsecos detectados en su aplicación al edificio columnado de Jamila (Villanueva de los Infantes, Ciudad Real, España). Este yacimiento es ideal para poner en práctica dicho protocolo en tanto que aún la vocación divulgadora del equipo que lo estudia, con la falta de documentación en sus primeras campañas y una compleja interpretación histórico-arqueológica al tratarse de un lugar con distintas reocupaciones, algunas de ellas únicas en su tipología.*

**Palabras Clave:** FOTOGRAMETRÍA, MODELADO 3D, INVESTIGACIÓN, ARQUEOLOGÍA PÚBLICA, JAMILA.

---

#### **Abstract**

*This paper intends to be a sample, both theoretical and practical, of a protocol for the use of photogrammetric resources when generating a three-dimensional archaeological model. The use of said resources allows to cheaply compile, systematise, use and share the generated data –photogrammetric and 3D– in order to both work with hypothesis and share the knowledge –via online repositories with an academic public or with a wider audience using didactics and other means of spreading History and Archaeology–. As an example, the article analyses the possibilities and problems detected when applying said protocol at the site of the Columnated Building of Jamila (Villanueva de los Infantes, Ciudad Real, Spain). This archaeological site is ideal to put said protocol into practice, as one of its team's aims is the public spreading of Archaeology of the site. Furthermore, it lacks information from its first archaeological seasons and a complex historical and archaeological interpretation, being a place with several reoccupations, some of them with unique typologies.*

**Key words:** PHOTOGRAMMETRY, 3D MODELING, RESEARCH, PUBLIC ARCHAEOLOGY, JAMILA.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El Proyecto Arqueológico ‘Entorno Jamila’ (PAEJ) desarrolla desde los años 80 del siglo XX al Sur del término municipal de Villanueva de los Infantes (Ciudad Real, España) una iniciativa de investigación histórico-arqueológica de esta parte del Alto valle del río Jabalón. Si bien sus objetivos básicos siguen siendo los mismos desde hace ya casi una treintena de años, no obstante, se trata de un proyecto que en la última década ha profundizado de forma teórica y práctica en las metas a alcanzar y ha ampliado los procedimientos para así conseguirlas (Moya-Maleno, 2013).

La atención a la evolución de la propia disciplina arqueológica y a las nuevas oportunidades y herramientas que aportan las más diversas áreas de conocimiento filosóficas y tecnológicas ha movido al PAEJ a adentrarse y explorar nuevos caminos en todo lo relativo al estudio del Patrimonio y del Pasado. De una parte, se ha procurado cumplir con los requisitos de la Ciencia moderna; por otro lado, también consiste en sondear nuevas alternativas al albur de los tiempos presentes, de la realidad sociocultural y de las posibilidades técnicas que se están demostrando muy útiles en otras materias y en nuestro campo mismo.

El PAEJ se ha volcado en una quintuple estrategia que aúna investigación, conservación, formación, divulgación y desarrollo. Tal orientación y proceder está ya aportando sus frutos, puesto que preferimos hacer microexcavaciones y revisar las campañas anteriores, servir de escuela para futuros arqueólogos, difundir a la sociedad los conocimientos que alcanzamos así como intentar ser un motor más de desarrollo cultural y económico en la zona.

En este sentido, y ciñéndonos al tema de este artículo, creemos firmemente en las ventajas de introducir las posibilidades fotogramétricas y de virtualización 3D dentro de un proyecto arqueológico (*inter alia* Lloret, 2000; Prins y Adams, 2012; Forte, e.p.). Esta apuesta no es óbice para reducir la representación gráfica –en

y para Arqueología– a un mero papanatismo tecnológico de petimetre; estamos convencidos también que el trazo a mano propio de la ilustración conlleva igualmente un proceso de maduración intelectual y un lenguaje expositivo del que no se puede prescindir ni para analizar ni para hacer comprender el Pasado (Griffiths *et al.*, 1990; Ambrus, 2006). Estamos ante herramientas aptas, complementarias e inmersas todas en la consecución de cada uno de nuestros fines.

Así pues, sin dejar de lado otros “recursos analógicos” (Fig.1), desde 2009 el PAEJ introdujo en sus procedimientos la documentación fotogramétrica de piezas significativas y de contextos arqueológicos de pequeñas dimensiones, tales como artefactos exhumados en el yacimiento de Jamila y algunos de los testigos de campañas anteriores.

Si bien la tendencia natural hubiera sido el uso de sendos escáneres 3D tanto en laboratorio como en yacimiento, como ya es habitual (Tejado, 2005; Trinks *et al.*, 2005; Esquivel *et al.*, 2012), nuestra esencia de proyecto humilde nos hace contar con más profesionales en la materia que medios (Moya-Maleno, e.p). Por todo ello, y existiendo abundante bibliografía y ejemplos prácticos de fotogrametría digital terrestre e hipótesis virtuales, lo que proponemos es implementar con nuestros exiguos recursos un protocolo para obtener modelados tridimensionales arqueológicos desde archivos fotogramétricos al tiempo que compilamos, sistematizamos, utilizamos y compartimos los archivos generados. De este modo, dicho protocolo nos sirve tanto para trabajar con hipótesis, como para universalizar el conocimiento, ya sea con repositorios en red para especialistas o para facilitar la didáctica y difusión de la Historia y la Arqueología.

Sin embargo, hemos de ser conscientes de los problemas intrínsecos detectados en su aplicación a grandes y complejos contextos arqueológicos, en este caso en Jamila. Dicho yacimiento, excavado desde 1997 (Espadas *et al.*, 2000), contiene fases ibéricas y modernas, si

bien destaca por un edificio de c. 54 x 34 m (1848 m<sup>2</sup>) de época medieval cristiana, siglo XIII aprox., monumentalizado a juzgar por la estancia lateral interior con 14 grandes columnas y 409m<sup>2</sup>. Este espacio ha sido el documentado mediante fotogrametría durante la campaña de 2014 y es del que ahora también presentamos una de las posibles propuestas de recreación.

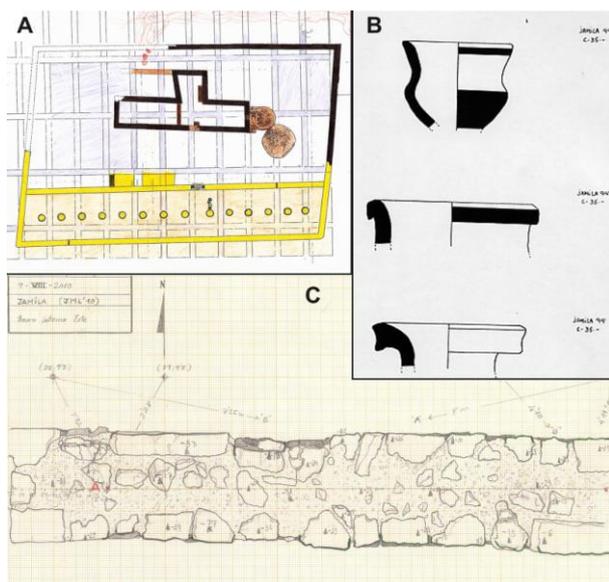


Figura 1. Dibujo y composición “tradicional” en el PAEJ, yacimiento de Jamila. A: Croquis de la planta, 1999; B: Cerámicas ibéricas, 1999; C: Planta del muro interior Este, 2010. Dibujos: PAEJ, inéditos (A y B: J.J. Espadas Pavón; C: Érika Mejjide).

## 2. DE LA FOTOGRAMETRÍA AL MODELADO 3D: APLICACIONES

El objeto final de nuestro estudio fotogramétrico es la obtención de distintos tipos de imágenes –output– para dar respuesta a las necesidades determinadas por nuestra mencionada quintuple estrategia. En cada una de éstas, aunque parten de una misma tarea fotogramétrica, el resultado definitivo se elabora con protocolos específicos.

Tales diferencias están marcadas por unos parámetros basados, en un primer caso, por la función y público al que va dirigido el producto visual. Otra opción de la que dependerá la aplicación un tipo u otro será el grado de detalle final que se desea. Así, por un lado, es necesario

distinguir si el objeto final va destinado a la compilación de datos profesionales, a la divulgación científica o a la generalista. En segundo término, e, interactuando con cualquiera de las categorías anteriores, otra distinción fundamental radicará en la necesidad de obtener *imágenes estáticas* o *dinámicas*.

Las *imágenes estáticas* son escenas sin movimiento, a modo de fotografías “ordinarias”, destinadas a múltiples fines, como la documentación arqueológica, publicaciones, didáctica, o divulgación en cartelería, guías, etc. Pueden tener mucho detalle si se trata de primeros planos o prescindir de ellos –con la consiguiente simplificación del proceso– en caso de utilizarse encuadres medios y de conjunto o generales.

Las *imágenes dinámicas* también pueden ser utilizadas para las mismas funciones que las estáticas pero, como indica su nombre, permiten contemplar la pieza completa por todas sus caras o adentrarse en el yacimiento gracias a un movimiento prediseñado o libre por parte del espectador. Este tipo de imágenes, si bien acrecientan las posibilidades de estudios cronotipológicos para los investigadores y hacen más atractiva la divulgación, requieren de mayor elaboración y tecnología, puesto que no pueden prescindir del detalle y son más complejos de ubicar en repositorios 3D en Red (*inter alia* Paztez, 2014a).

Concretando las aplicaciones científicas en las que nos ha sido útil nuestro protocolo, éstas han sido principalmente para:

- *Registro y documentación de campo*: unido al tradicional dibujo y fotografiado en campo y laboratorio de las piezas exhumadas o localizadas en museos y colecciones particulares, no hay duda que la fotogrametría digital terrestre y los modelos tridimensionales son otro registro detallado con múltiples resultados y que nos permiten legar una mejor documentación de nuestros hallazgos a los futuros investigadores (Fig. 2). El PAEJ ha de tener en cuenta, además, la existencia de ciertos factores que juegan en su contra durante el desarrollo del proyecto: no se dispone de una buena documentación

arqueológica de las excavaciones previas al actual equipo investigador, se han deteriorado estructuras en el propio yacimiento e, incluso, la pérdida de piezas reseñables, por lo que, tal y como ya han señalado P. Aparicio *et al.* (2014), es fundamental toda representación que integre fotografías anteriores (Fig. 3).

- *Materialización de hipótesis*: estas herramientas nos posibilitan y facilitan, hoy día a nosotros, un análisis y aportación de propuestas más precisas de los restos arqueológicos. Esta aplicación es especialmente útil con piezas de calidad artístico-arquitectónica difíciles de manejar, fijas (*inter alia* Paztec, 2014b) o que ya se encuentran en museos. Igualmente, y hasta cierto punto, es posible salvar la presencia discontinua de otros especialistas en ingeniería o arquitectura que la escasez de recursos nos impone.



Figura 2. Registro fotogramétrico 3D de testigos excavados entre 1997-1999 durante la campaña 2014 (Imagen: D. Vacas Madrid, PAEJ).



Figura 3. Modelo fotogramétrico 3D de escaleras interiores de Jamila realizado sobre fotografías antiguas. Modelo simplificado (Imagen: D. Vacas Madrid, PAEJ).

- *Difusión académica*: bien sea con imágenes estáticas o dinámicas obtenidas con fotogrametría, aporta en soportes tradicionales un material detallado y de calidad que, unido a las posibilidades de internet, permite la creación de un repositorio de imágenes. De este modo, cualquier investigador o interesado podrá encontrar paralelos o criticar, en un sentido u otro, nuestros planteamientos. Valga de ejemplo proyectos como el de *La Casa de la Diana arcaizante* de Pompeya (Luzón *et al.*, 2014).

- *Didáctica pública y para jóvenes*: uno de nuestros pilares es la divulgación a toda la sociedad y a todas las edades, incluidos los más pequeños (Yuste, 2010). Por esta razón, para llegar a los niños y a una masa social ajena a los dilemas histórico-arqueológicos, hemos de facilitar el conocimiento y asimilación del mensaje cultural con ilustraciones de cartelería, guías, etc. (*inter alia* Torres, 2011: fig. 194) y, sobre todo, con modelados 3D de los yacimientos (*inter alia* Balawat, 2014), con viajes efectistas alrededor de estos (Blázquez Alonso, 2013; Palomar, 2014), así como de las piezas arqueológicas más relevantes (Grande, 2002; Pletinckx, 2004).

- *Didáctica para estudiantes universitarios*: consideramos positivo aportar ejemplos fotogramétricos y crear modelos tridimensionales y vídeos pensados específicamente para estudiantes universitarios de carreras como Historia, Arqueología o Historia del Arte, como bien sirven algunos ya existentes (*inter alia* Almagro, 1993; Aparicio, 2013; Ooopart, 2014). De este modo, además de añadir material docente de forma libre con ejemplos reales, se demuestra a los alumnos la relativa facilidad de conseguir grandes resultados con medios modestos y equipos transdisciplinares.

Para finalizar en este campo de las aplicaciones, una de las cuestiones a plantearnos es qué distingue o equipara nuestro protocolo de interoperabilidad de la fotogrametría en modelado 3D a otros trabajos o equipos. Evidentemente, antes que redescubrir

herramientas que ya están inventadas para sus desarrollos concretos, el valor de nuestra apuesta, creemos, está en conectarlas todas con distintos fines y dentro de un proyecto arqueológico modesto.

El PAEJ es otro ejemplo de cómo estos trabajos digitales-virtuales son empleados mayoritariamente por equipos procedentes del campo histórico-arqueológico (*inter alia* Mañana, 2008; Peña, 2014), arquitectos (*inter alia* Cámara y Latorre, 2003; Ángulo, 2012) y, en menor medida, historiadores del Arte (*inter alia* Aparicio, 2014) o diseñadores gráficos (Paztec, 2014c). Sin embargo, las propias características de los materiales y del conjunto arquitectónico de Jamila nos conduce a utilizar lenguajes y recursos de éstas otras disciplinas a fin de ser lo más fidedignos posible y de encontrar paralelos constructivos y cronotipológicos.

Aún así, colaborando con especialistas externos, se ha creado una atmósfera para alcanzar nuestros fines y para estimular la formación continua de nuestro joven equipo con retos reales. Son los miembros del PAEJ (historiadores, arqueólogos e historiadores del arte especialmente) los que se han ido formando y especializando en distintas áreas y aplicando sus nuevos conocimientos en el propio Proyecto, incluidas las técnicas fotogramétricas y de representación virtual, al tiempo que debatimos y replanteamos nuestras propias propuestas.

### 3. EL PROTOCOLO EN UN CASO CONCRETO: JAMILA

Aunque el yacimiento de Jamila es uno más en los que interviene el PAEJ, su vistosidad, complejidad intrínseca y facilidad de trabajo han hecho del lugar el primer laboratorio para implementar este protocolo y sus aplicaciones. Aún con nuestras frágiles cifras en comparación con otros proyectos de la zona y de más allá, el grado de asequibilidad y resultados obtenidos nos invita a compartir nuestra mecánica de trabajo. Con todo, en este caso concreto, el ejercicio es doblemente interesante puesto que demuestra cómo, aun compartiendo un trabajo

fotogramétrico preciso, las fuentes y parámetros que fijan la hipótesis final pueden arrojar resultados 3D totalmente alejados de propuestas más coherentes.

#### 3.1. El proceso fotogramétrico para una estructura

A la hora de abarcar el proceso fotogramétrico para una estructura tan extensa hemos necesitado una importante planificación previa para la captura de datos. Mediante croquis, se planificaron las tomas en sus diferentes secciones, tanto a lo largo de los muros como alrededor de las 14 columnas que componen la estancia columnada, objeto inicial de nuestro trabajo.

Utilizamos una cámara réflex<sup>3</sup> configurada en manual para obtener los mismos parámetros de luz y color en cada toma (balance de blancos, tiempo de exposición, apertura del diafragma, etc.). Las imágenes fueron tomadas en JPG y RAW para tener mayor calidad en las imágenes a la hora de calcular el modelo 3D y permitirnos realizar retoques previos al procesado.

En cuanto al material utilizado, fue suficiente con una escalera y un trípode, pues la altura de las ruinas hacía innecesario el uso de herramientas complementarias más costosas como drones. Las condiciones lumínicas de exterior tampoco han sido un problema, por la presencia continuada de un cielo despejado sin cambios bruscos de luz, algo normal en el verano manchego. A pesar de ello, la gran cantidad de tomas necesarias, hizo obligatoria restringir la captura de datos a una misma franja horaria para mantener las mismas condiciones de luz. Así, durante ocho días, se realizó dicha tarea de 11:00 a 14:00h, invirtiendo un total de 24 horas de trabajo en campo.

Mucho más tedioso que la toma de datos fue el posterior procesado de las fotografías mediante el software fotogramétrico. Para su correcta alineación fue necesaria la edición de cada una de las 2.591 fotografías realizadas, eliminando

<sup>3</sup> Nikon D90. Objetivo: AF-S NIKKOR 18-105mm f/3.5-5.6G ED.

elementos que no debían aparecer en el modelo y realizando pequeñas correcciones.

El procesado de la nube de puntos, la malla y la textura, fue complicado por la cantidad de datos que generaba. Precisamente uno de los primeros problemas con que nos encontramos en el proceso fue que la gran cantidad de puntos obtenidos a partir de las fotografías hacía imposible la generación de la malla a nuestro equipo informático<sup>4</sup>. De esta forma, optamos por la realización de modelos por secciones y su posterior unión manual. Cada una de ellas cubre un espacio aproximado de 60 m<sup>2</sup>.

Durante todo el proceso, que ha durado unas tres semanas, ha sido necesario depurar un tipo de modelo adecuado para sacarle el máximo rendimiento al equipo dentro de sus posibilidades, probando con diferentes configuraciones hasta obtener un resultado con el que poder trabajar al tiempo que mantuviese el suficiente nivel de detalle. Evidentemente, un modelo muy detallado y de gran calidad exige un tamaño –en términos de ficheros informáticos– también muy grande. Así, lo más sensato ha sido crear modelos fotogramétricos lo más detallados posible para después, si es necesario, reducir su calidad y, por ende, su tamaño en pos de aplicarlos a diferentes *output*.

Otro de los problemas con que tuvimos que enfrentarnos al realizar el modelo fue, como ya se ha mostrado (Fig. 3), la sección de la escalinata de entrada a la estancia columnada. En 2010 se instaló para la protección de los restos arqueológicos una escalera de metal que cubría la original, dejándola a la vista, pero impidiendo el tránsito sobre la misma. La retirada de la escalera para obtener el modelo fotogramétrico era inviable. Por ello, se optó por utilizar el recurso de la “fotogrametría involuntaria” que tan buenos resultados está dando en otros proyectos (Aparicio *et al.*, 2014). De esta forma, generamos un modelo de calidad aceptable de la escalinata que después añadimos al modelo general previa corrección de color de la textura.

<sup>4</sup> CPU: 2,3 GHz Intel Core i7. RAM: 16 GB 1600 MHz DDR3. GPU: NVIDIA GeForce GT 750M 2048 MB.

Por último, como complemento al modelo fotogramétrico de la estancia columnada, se realizaron modelos de todos aquellos elementos arquitectónicos dispersos por el yacimiento con intención de documentarlos, preservarlos y tenerlos disponibles para la posterior hipótesis virtual.

El resultado final ofrece una correcta visión volumétrica del edificio (Figs. 4 y 5), aunque con pequeños errores en las zonas de unión que han podido ser corregidos en el paso siguiente de modelado 3D.

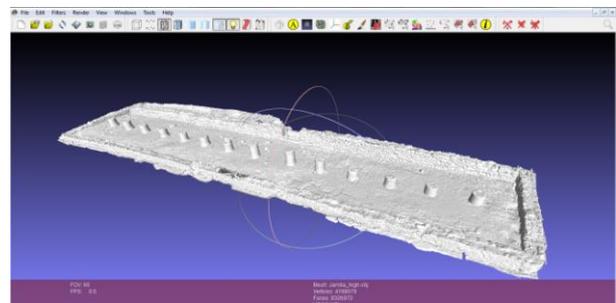


Figura 4. Vista SE sin texturas y en pantalla del modelo fotogramétrico 3D de la sala columnada de Jamila (Imagen: D. Vacas Madrid, PAEJ).

### 3.2. El protocolo de simplificación

A continuación hemos gestionado los diferentes modelos fotogramétricos generados, como se ha señalado, atendiendo a sus futuros usos y aplicaciones. Para ello hemos prestado atención, fundamentalmente, a dos características: la calidad y el tamaño del modelo obtenido. Por tanto, la primera pregunta a la hora de procesar estos modelos debe ser: ¿para qué van a ser utilizados? Existen tres condicionantes fundamentales en este sentido: las características físicas y dimensiones del modelo (no será igual un recipiente cerámico que un edificio entero), los requisitos técnicos exigidos y, por último, el fin o fines a los que el modelo está destinado.



Figura 5. Vista SW final del modelo fotogramétrico 3D de la sala columnada de Jamila (Imagen: D. Vacas Madrid, PAEJ).

#### a. Modelos sin modificar

Los modelos que no han sufrido modificación alguna nos aportan una información más detallada y real. Así, podremos utilizarlo para fines científicos, permitiendo analizar el modelo de forma individualizada y pormenorizada para, por ejemplo, establecer tipologías, crear repositorios *online* a través de pdf's interactivos y renderizar imágenes estáticas de gran calidad. Sin embargo, este tipo de modelo fotogramétrico exige, al mismo tiempo, unos altos requisitos técnicos que, en un modesto proyecto como es el nuestro, no siempre están disponibles. A ello se une las propias características de un modelo que no ha sido editado, en el que su geometría es muy irregular y poco limpia, algo poco adecuado para su almacenamiento y compilación ya conocido en esta materia (Knibbe *et al.*, 2014) (Fig. 5).

#### b. Modelos simplificados

Proponemos un protocolo de simplificación que incluye no sólo una simple reducción de la malla generada, sino también una forma de establecer diferentes niveles de detallado en función de su uso o usos.

Un nivel de simplificación medio puede ser aplicado en animaciones 3D, conservando aun ciertos detalles del mismo pero, a su vez, permitiendo a nuestro equipo informático un nivel de trabajo fluido con unos tiempos aceptables en el proceso de renderizado.

Si lo que buscamos es trabajar en tiempo real y de forma fluida con estos modelos –como por ejemplo para llevar a cabo labores de *anastylosis* virtual–, teniendo en cuenta que un equipo informático a nivel de usuario, deberemos simplificar nuestros modelos lo máximo posible –a un nivel de calidad muy bajo–. Para ello, y mediante nuestro protocolo de simplificación, hemos obtenido un modelo 3D que, pese a estar simplificado en términos de tamaño y rendimiento, todavía nos aporta información

relevante. Otro posible uso para este modelo de alta simplificación es la creación de aplicaciones en tiempo real, cuyos motores requieren ficheros muy reducidos.

Por otra parte, y volviendo a la creación de animaciones, si nuestros modelos fotogramétricos van a ser incluidos en una escena rica y poblada y, a su vez, alejada de la cámara, no será necesario que éstos mantengan su nivel de calidad original –ya que no será apreciado por el usuario y sólo hará que el tiempo de renderizado aumente– (Fig. 6).

### 3.3. Protocolo de modelado 3D

#### 3.3.1. Fuentes para el modelado 3D

En contraposición al modelo fotogramétrico, el modelado 3D es un proceso manual y subjetivo que genera un objeto 3D resultado de la hipótesis virtual previamente elaborada. Para ello, nos servimos de distintas fuentes que dotarán a dicho modelo de validez científica. Aún cuando el modelo aquí presentado es una hipótesis desechada por nosotros, ésta debe cumplir unos parámetros mínimos que la hagan verosímil.

Los resultados fotogramétricos han sido usados como un punto de arranque para nuestro nuevo modelo y nos han permitido manipular

información original sobre el yacimiento u artefacto en cuestión. Sin embargo, existen otras fuentes que, cuando se dispone de ellas, deben ser utilizadas. La primera de ellas ha sido la propia información arqueológica de Jamila, la cual, unida a los dibujos arqueológicos y de campo, se traduce en un primer modelo 3D y que sirve de base para ser reutilizado y mejorado en futuras reconstrucciones en detalle.

En segundo lugar, contamos con las fuentes escritas. Dichos testimonios nos permiten ahondar en información que ha sido producida coetáneamente, aportando, por ejemplo, detalles sobre el método constructivo, usos de un edificio determinado, y un largo etcétera. Para Jamila, sin embargo, no conocemos descripciones históricas, como cabría esperarse, por ejemplo, de las que habitualmente realizaban los *visitadores* de la Orden de Santiago.

También es crucial en el desarrollo de una hipótesis virtual el uso de analogías, especialmente cuando el resto de información disponible no es lo suficientemente rica como para desarrollar íntegramente nuestra hipótesis virtual. No obstante, a la hora de utilizar dichas analogías debemos atender a dos características principales: su cronología y su adscripción cultural y geográfica. Cuantos más nexos se encuentren en ambas, más deberán ser tenidas en cuenta (Fig. 7).



Figura 6. Distintos niveles de simplificación 3D para estructuras y elementos constructivos-decorativos del yacimiento de Jamila (Imagen: J. Tormeión Valdelomar, PAEJ).

En el caso concreto de Jamila la analogía también es limitada: es un edificio a priori tan singular que no permite la comparación directa con otros edificios existentes o bien ya desaparecidos pero conocidos. No en vano, hemos encontrado dos vías de progreso en este ámbito. De una parte, prestando especial atención a la parte de la columnata, sí disponemos de algunos datos de edificios y yacimientos arqueológicos con ciertos puntos en común. Por otro lado, a la hora de reconstruir las técnicas y estilos constructivos, hemos prestado atención tanto a métodos y técnicas de construcción de la época como del área en cuestión, tratando de buscar paralelismos entre lo histórico y lo etnográfico.



*Figura 7. Tapial degradado en uso pero cercano al abandono en Villanueva de los Infantes (2014).*

### 3.3.2. ¿Cómo lo hacemos?

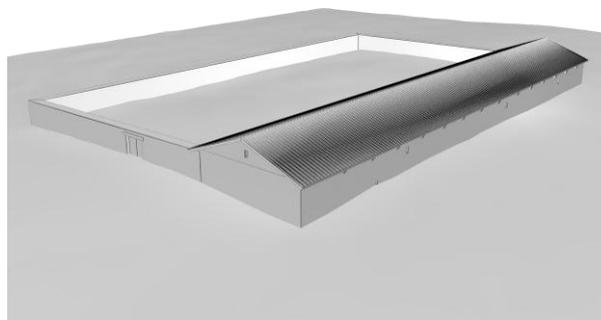
Antes de adentrarnos en el proceso de reconstrucción virtual y de modelado, ha sido imperativo llevar a cabo un trabajo de pre-producción en el que los distintos especialistas hemos discutido aspectos técnicos de la reconstrucción. También en este estadio, y no después, hemos decidido para qué fin —o *output*— iba a ser utilizado nuestro modelo 3D, puesto que condicionaba de forma definitiva el método de trabajo.

En primer lugar, hemos preferido afrontar la fase más monumental del yacimiento —aquella en la que la columnata estuvo operativa en su diseño original— y prescindir, así, de otras utilidades posteriores que arqueológicamente

conocemos tuvo dicho recinto. Una vez centrados en la fase medieval primigenia de la columnata, se ha acotado aún más el criterio para desarrollar en el modelado una de las teorías que se han vertido acerca de Jamila, la que señala que desde el exterior se accedía a un gran corral en cuyo lateral Sur se hallaba la estancia columnada a modo de gran nave techada de uno o dos pisos. Así pues, dicha estancia sería un almacén dentro de un espacio multifuncional, quizás taller artesanal o industrial (García Bueno, 1999).

Una vez todas esas fuentes han sido compiladas, analizadas y comparadas entre sí, hemos llevado a cabo el primer intento de modelado 3D. Para esta labor, igual que en el protocolo anterior, existen diferentes soluciones informáticas que van desde software libre y gratuito hasta licencias de pago para fines comerciales.

El hecho de disponer del modelo fotogramétrico georeferenciado ha facilitado enormemente la ubicación espacial de los restos, los cuales son utilizados como base para crear un modelo CAD de las estructuras in situ para, a continuación, comenzar con la reconstrucción volumétrica de la hipótesis planteada. Sin embargo, dicho modelo fotogramétrico ha sufrido previamente un proceso de simplificación que, como se ha señalado anteriormente, nos permite trabajar con él de forma fluida (Fig. 8).



*Figura 8. Reconstrucción volumétrica básica de Jamila según las estructuras arqueológicas y las teorías de los años 90 del siglo XX (Imagen: J. Tormejón Valdelomar, PAEJ).*

Éste es sin duda un paso fundamental en la reconstrucción, donde tienen lugar las primeras discusiones sobre las medidas del edificio – especialmente su altura, hoy día desconocida– y su aspecto. Una vez dichos volúmenes han sido establecidos, hemos podido ir más allá e incluir aquéllos modelos fotogramétricos que, previamente simplificados, constituyen un primer intento de *anastylosis* virtual.

Cuando todos los elementos hallados en el yacimiento o los aplicados por analogía fueron debidamente ubicados de acuerdo a la hipótesis virtual con la que estamos trabajando, procedimos a un texturizado realista del edificio. Este paso lo consideramos necesario, puesto que dota a los materiales constructivos de un realismo que antes no tenían pero, aún así, no todos los modelos finales requieren subir dicho peldaño.

Por último, se ha realizado un proceso de refinamiento de la escena para dotar a ésta de una calidad y realismo que antes no tenía. Para ello, hemos incluido, en la medida de lo posible, información adicional sobre el yacimiento en cuestión (resultados paleofaunísticos, paleoflorales, paleoclimáticos, reconstrucción del terreno –especialmente modelos MDT/DTM o *Digital Terrain Model*–, etc.) (Fig. 9).



Figura 9. Reconstrucción “realista” de Jamila según las estructuras arqueológicas y las teorías de los años 90 del siglo XX (Imagen: J. Tormejón Valdelomar, PAEJ).

#### 4. RESULTADO: UNA (DE VARIAS) HIPÓTESIS PARA JAMILA

Entre todas las posibles hipótesis planteables, hemos optado por registrar y materializar virtualmente una fase en concreto y una teoría en particular. Evidentemente, este acotamiento no afecta al trabajo fotogramétrico como tal, pues todos los modelos 3D se basan en los mismos datos de campo y de estudio. Tampoco a sus aplicaciones posteriores, puesto que éstas dependen de otros parámetros, tales como el *output* o el foco de interés a destacar por nosotros.

Es en el resultado final donde se manifiesta la trascendencia de la hipótesis inicial (Figs. 9 y 10). En nuestro caso de Jamila, el objeto tridimensional resultante no podemos considerarlo una anastylosis virtual puesto que no goza de nuestro apoyo por razones que ya hemos avanzado (Moya-Maleno, 2013: 360) y que esperamos asentar en próximas publicaciones. Ahora bien, nos ha parecido un excelente ejercicio para obligarnos a reforzar nuestras propias convicciones así como una propuesta más para el juicio de otros especialistas. También, en cierto sentido, no deja de ser una primera y más sencilla puesta en marcha de nuestro proyecto de interoperatividad al tiempo que un pequeño homenaje 3D a los esfuerzos realizados por otros investigadores con anterioridad.

El hecho de que precisamente el inicio de nuestra nueva etapa como investigadores de Jamila comenzara en 2009, después de una década sin excavaciones y del paso de dos direcciones arqueológicas distintas –Juan José Espadas Pavón y Carmen García Bueno– entre 1997 y 1999, constituye uno de los principales problemas detectados en nuestro proceso. Si unimos la disparidad de criterios de excavación y de estudio de materiales a una débil metodología y exposición de los trabajos realizados en términos generales, lo que nos encontramos es una inestable e imprecisa documentación arqueológica para poder reconstruir el proceso tafonómico del yacimiento. Con todo, aunque es



*Figura 10. Reconstrucción “realista” del interior de la estancia columnada de Jamila según las estructuras arqueológicas y las teorías de los años 90 del siglo XX. El referente animal, además de escala, nos sirve también para evidenciar que ésta es una hipótesis desafortunada, puesto que si tal espacio estuviera techado, el vano-desagüe existente en el muro exterior es lo suficientemente amplio como para que pasaran lagomorfos u otros pequeños carnívoros (Imagen: J. Tormejón Valdelomar, PAEJ).*

patente que los datos limitados de campañas anteriores lastran la investigación y las propuestas de recreación con fotogrametría y 3D, también ha sido posible la utilización de las fotografías antiguas a modo de la mencionada “fotogrametría involuntaria”.

Por otro lado, otra de las dificultades que hemos localizado en el caso de Jamila es la ausencia de paralelos estructurales cronotipológicos para esta fase arqueológica, sólo analogías parciales. Es posible rastrear artefactos muebles registrados arqueológicamente, incluidos algunos elementos ornamentales. También podemos intuir por los paquetes estratigráficos, por la lógica constructiva y por la arquitectura tradicional de la zona, por ejemplo, la importancia del tapial como principal elemento constructivo vertical. Sin embargo, a día de hoy la mencionada estancia columnada y el resto del diseño arquitectónico del inmueble carecen de paralelos conocidos sobre los que aplicar un troquel

comparativo razonable. Ni en su época ni en otras.

En última instancia, la ya reseñada escasez de recursos del PAEJ reduce nuestro campo de acción en los objetivos a cumplir y la posibilidad misma, no ya de exponer correctamente nuestros logros, sino de contrastar los datos y modelos obtenidos por otros medios de corrección, como podría suceder en el caso de contar con estación total, geolocalizaciones precisas, escáner 3D, servidores y aparatos informáticos potentes, etc. Eso por no hablar de la precaria situación laboral del personal interviniente, que sobrepasamos con creces los límites de lo humana y económicamente sostenible.

Así pues, llegados a este punto y señaladas las principales ventajas y desventajas de nuestra experiencia, es posible concluir que, a pesar de todo, se trata de un positivo sistema de documentación, investigación y exposición de

datos arqueológicos. El hecho de que la hipótesis virtual que presentamos cuente con un índice de certeza bajo no va más allá del propio propósito de su creación, puesto que, al fin y al cabo, se trata de un ejercicio de fantacencia sobre datos desactualizados. La importancia verdadera de ese modelo 3D de Jamila se halla en su propio proceso de construcción y en los usos que hemos conseguido desarrollar a partir de la recogida de datos de distinta naturaleza para estar presentes en un arco de difusión que va desde la crítica científica al turista menos avezado (Fig. 10).

## 5. CONCLUSIONES

La existencia de unas directrices estimulantes y de unos mínimos conocimientos de la realidad de la aportación de las herramientas digitales al registro arqueológico permiten a cualquier proyecto, por modesto que sea, desarrollar exponencialmente las posibilidades de investigación y difusión del Patrimonio: un mecanismo o navaja suiza en el que engranar las distintas aportaciones para estudiar nuestro yacimiento o para crear otro sin fin de productos científicos y didácticos. Evidentemente no llegamos al potencial de otros proyectos pero así se ha constatado en el PAEJ.

El trabajo coordinado en el yacimiento de Jamila en distintas direcciones, desde la recogida de datos en campo al buceo en fuentes

etnográficas, históricas e historiográficas, ha conseguido reavivar información arqueológica previa –difícilmente útil hasta ahora– y ponerla en común con todo tipo de testimonios hasta el punto de poder generar distintas hipótesis de trabajo y propuestas en firme. Para ello, previamente, el proceso meramente mecánico del protocolo destaca por obtener modelos fotogramétricos precisos y ricos en datos que, sin embargo, se pueden simplificar para ser viables en otros productos menos detallados. Se trata, al fin y al cabo, de ser pragmáticos en cada uno de los casos en los que nuestro protocolo puede aportar herramientas de análisis y/o difusión del Patrimonio.

En este sentido, una valoración general del trabajo realizado en Jamila resulta, por una parte, altamente gratificante por la documentación obtenida y las hipótesis resultantes. En segundo término, nos hará prestar más atención a este tipo de recursos en paralelo al trabajo arqueológico “tradicional”. Por extensión, si bien el PAEJ no inaugura ni mucho menos el desarrollo de modelos tridimensionales a partir de recursos fotogramétricos, sí enfatiza de forma asequible la posibilidad –y deber, así lo consideramos– de los distintos equipos de hacer mejor Ciencia y de hacer-una-Ciencia-pública para el resto de investigadores con recursos modernos al tiempo que hacer-pública-la-Ciencia a la sociedad, nuestro fin principal.

## REFERENCES

- ALMAGRO GORBEA, Antonio y SALMERÓN ESCOBAR, Pedro (1993): “La Catedral de Granada. Documentación y levantamientos fotogramétricos”, in *La Conservación del Patrimonio Catedralicio*. ICRBC. Madrid. pp. 99-112.
- AMBRUS, Victor (2006): *Drawing on Archaeology: Bringing History to Life*. Tempus Publishing. Stroud.
- ÁNGULO FORNOS, Roque (2012): “Construcción de la base gráfica para un sistema de información y gestión del patrimonio arquitectónico: Casa de Hylas”, in *Arqueología de la Arquitectura*, nº 9, pp. 11-25.
- APARICIO RESCO, Pablo (2013): *Restauración virtual de escultura: anastilosis y reconstrucción de partes perdidas* [online] [www.youtube.com/watch?v=bCpcvHcVr18](http://www.youtube.com/watch?v=bCpcvHcVr18) [Consult: 09/09/2014].
- APARICIO RESCO, Pablo (2014): ¿Quiénes somos?, in *PAR: Tecnologías de representación gráfica del Patrimonio* [online] <https://parpatrimonioytecnologia.wordpress.com/quienessomos> [Consult: 09/09/2014].

- APARICIO, Pablo, CARMONA, Juan D. FERNÁNDEZ, Miguel y MARTÍN, Pere M. (2014): “Fotogrametría Involuntaria’: rescatando información geométrica en 3D de fotografías de archivo”, in *VAR*, nº 5 (10), pp. 11-20.
- BALAWAT (2014): *Balawat.com. Comunicación multimedia para la Arqueología* [online] [www.balawat.com/](http://www.balawat.com/) [Consult: 09/09/2014].
- BLÁZQUEZ ALONSO, José Manuel (2013): *Recreación en 3D de la evolución arquitectónica de la catedral de Ávila* [online] [www.youtube.com/watch?v=EBbgtY-efas](http://www.youtube.com/watch?v=EBbgtY-efas) [Consult: 09/09/2014].
- CÁMARA MUÑOZ, Leandro y LATORRE GONZÁLEZ-MORO, Pablo (2003): “El Modelo Analítico Tridimensional obtenido por fotogrametría. Descomposición, manipulación y aplicaciones en el campo de la restauración arquitectónica”, in *Arqueología de la Arquitectura*, nº 2, pp. 87-96.
- ESPADAS, Juan José *et al.* (2000): “El yacimiento Arqueológico de “Jamila” (Vva. de los Infantes)”, in L. Benítez de Lugo (coord.): *El Patrimonio Arqueológico de Ciudad Real*. UNED. Valdepeñas. pp. 323-354.
- ESQUIVEL, José Antonio *et al.* (2012): “Utilización de un modelo digital mediante laser escáner 3D para la documentación y restauración del Castillo de Piñar (Granada, Andalucía)”, in A. Peinado (coord.): *I Congreso Internacional ‘El patrimonio cultural y natural como motor de desarrollo: investigación e innovación’*. Universidad Internacional de Andalucía. Jaén. pp. 2171-2179.
- FORTE, M. (e.p.): “Cyberarchaeology: a Post-Virtual Perspective”, in D.Th. Goldberg y P. Svensson (eds.): *Humanities and the Digital. A Visioning Statement*. MIT Press. Boston. En prensa.
- GARCÍA BUENO, C. (1999): “Aportación al conocimiento del yacimiento Arqueológico de Jamila. Villanueva de los Infantes, C. Real (VI)”, in *Balcón de Infantes*, nº 87, pp. 18-19.
- GRANDE LEON, Alfredo (2002): “Itálica virtual. Un proyecto educativo que hace Historia”, in *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, nº 40/41, pp. 241-247.
- GRIFFITHS, Nick *et al.* (1990): *Drawing Archaeological Finds: A Handbook*. Archetype Publications. Londres.
- KNIBBE, J., O’HARA, K., CHRYSANTHI, A., MARSHALL, M., BENNETT, P., EARL, G., IZADI, S. y FRASER, M. (2014): “Quick and dirty: streamlined 3D scanning in archaeology”, in *Proceedings of the 17th ACM conference on computer supported cooperative work & social computing, 02/2014, CSCW ’14*. ACM. pp. 1366-1376. DOI: 10.1145/2531602.2531669.
- LLORET MARÍN, T. (2000): “La Arqueología audiovisual como técnica de conservación y difusión del Patrimonio”, in *Espacio y Tiempo*, nº 14, pp. 171-178.
- LUZÓN NOGUÉ, J.M. *et al.* (2014): *Casa de la Diana Arcaizante* [online] [www.dianaarcaizante.com](http://www.dianaarcaizante.com) [Consult: 09/09/2014].
- MAÑANA-BORRAZÁS, Patricia *et al.* (2008): “Una experiencia en la aplicación del Láser Escáner 3D a los procesos de documentación y análisis del Patrimonio Construido: su aplicación a Santa Eulalia de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela), in *Arqueología de la Arquitectura*, nº 5, pp. 15-32.
- MOYA-MALENO, Pedro Reyes (2013): “El ‘Entorno Jamila’ (Villanueva de los Infantes, Ciudad Real): de la Iniciativa personal a un proyecto de gestión integral de la investigación arqueológica”, in J. Almansa (ed.): *Arqueología Pública en España*. JAS Arqueología. Madrid. pp. 351-374.
- MOYA-MALENO, Pedro Reyes (e.p.): “Otro útil sistema de fotografía para excavaciones arqueológicas”. En preparación.

- OOOPART (Dir.) (2014): “La Mezquita de Antequera”, en *Arqueología 3.0: Las nuevas tecnologías aplicadas en la Arqueología y la Prehistoria* [online] <http://arqueologiatrespuntocero.blogspot.com.es/> [Consult: 09/09/2014].
- PALOMAR VÁZQUEZ, Jesús (2014): *Termas Orientales* [online] [www.youtube.com/watch?v=8kjU2-wyB-I&feature=youtu.be](http://www.youtube.com/watch?v=8kjU2-wyB-I&feature=youtu.be) [Consult: 09/09/2014].
- PAZTEC (2014a): “La Transfiguration / Charité sur Loire”, in *Sketchfab*: [online] <https://sketchfab.com/models/fbf31cac1aa440608da5f76bda55086f> [Consult: 09/09/2014].
- PAZTEC (2014b): “Moissac / Chapiteau du Martyre...”, in *Sketchfab* [online] <https://sketchfab.com/models/3091c9f7ad544c39bccf49324721ac57> [Consult: 09/09/2014].
- PAZTEC (2014c): “À propos de Paztec”, in *Paztec* [online] [www.paztec.fr/about.html](http://www.paztec.fr/about.html) [Consult: 09/09/2014].
- PEÑA DOMÍNGUEZ, Pedro (2014): “Trayectoria Profesional”, in *Pedro Peña Domínguez* [online] <http://ppd3d.blogspot.com.es/> [Consult: 09/09/2014].
- PLETINCKX, Daniel *et al.* (2004): “Telling the local story: an interactive cultural presentation system for community and regional settings”, in *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage*, VAST 2004. pp. 233-239.
- PRINS, Adam y ADAMS, Matthew J. (2012): “Practical Uses for Photogrammetry on Archaeological Excavations”, in Jezreel Valley Regional Project: *JVRP White Papers in Archaeological Technology* [online] [www.jezreelvalleyregionalproject.com/practical-uses-for-photogrammetry-on-archaeological-excavations.html](http://www.jezreelvalleyregionalproject.com/practical-uses-for-photogrammetry-on-archaeological-excavations.html) [Consult 4-08-2014].
- TEJADO SEBASTIÁN, José María (2005): “Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del Patrimonio Arqueológico”, en *Iberia*, nº 8, pp. 135-160.
- TORRES MARTÍNEZ, J.F. (2011): *El Cantábrico en la Edad del Hierro*. Real Academia de la Historia. Madrid.
- TRINKS, Immo, DÍAZ-ANDREU, Margarita, HOBBS, Richard y SHARPE, K.E. (2005): “Digital Rock Art Recording: Visualising Petroglyphs Using 3D Laser Scanner Data”, in *Rock Art Research*, nº 22(2), pp. 131-139.
- YUSTE MOURELLE, Pilar (2010): *Cuaderno del Taller Arqueológico 'Entorno Jamila': Yacimiento de Jamila (Villanueva de los Infantes)*. Asociación Manchega para la Historia y la Arqueología. Villanueva de los Infantes.