

uno de los objetivos primordiales de aplicación de la metodología que proponemos: obtener un equilibrio entre la información científica y su propia difusión a través de un entorno web y aplicación para dispositivos móviles. Este factor facilita el intercambio de datos así como la posibilidad de interactuar con el conjunto rupestre. La adaptación de los resultados a este tipo de entorno la hemos concebido como la continuación natural del proceso metodológico definido con anterioridad. Para ello, los resultados han sido adaptados a formatos compatibles con la mayoría de *software* libre a nivel de usuario, atendiendo a la transformación de los ficheros a diversos formatos compatibles (véase cuadro adjunto). Este aspecto ha determinado que, en ocasiones, resulte necesario efectuar una compresión y reducción de la calidad en la representación de los elementos gráficos en beneficio de una mayor difusión social en un entorno digital.

3.6.2.5. Conclusiones

Para el desarrollo de la metodología propuesta se ha establecido un modo de combinación de las nuevas tecnologías de registro para el arte rupestre, con un soporte digital web de libre acceso. Ofreciendo herramientas accesibles para que cada usuario pueda interactuar con la información y asegurar una disposición de la información registrada, siguiendo un único método que integre y relacione de un modo recíproco un registro científico y divulgativo.

Todo ello nos lleva a reflexionar acerca de los nuevos soportes en la documentación y difusión científica del arte rupestre. En este sentido, la línea de investigación y procesos que hemos expuesto tiene como objetivo esencial la propuesta de un método «democratizador» del resultado tridimensional, en línea con otros autores (Roecker, 2008) para la conservación del Patrimonio. En este sentido, del mismo modo que se genera una documentación con los datos registrados, que equivaldría al almacenamiento de la información registrada, hemos buscado herramientas que sean válidas para su aprovechamiento en plataformas digitales de acceso global.

El soporte que se ha utilizado para su difusión ha sido la propia web junto con una aplicación para dispositivos móviles. Sin embargo, somos conscientes de que existen condicionantes que, de algún modo, limitan una plena posibilidad de interactuar y de visualización. Estos condicionantes son: (1) la propia limitación física del tamaño de cada archivo en el alojamiento web, que hace necesario comprimir la información prescindiendo de resolución gráfica; (2) el tipo de conexión y velocidad para la carga de cada fichero; (3) la adopción de formatos que resulten fácilmente reconocibles y gestionables por cualquier usuario; (4) la gran variación tipológica de dispositivos móviles existentes que determina un grado de visibilidad de la información gráfica y teórica que puede resultar muy distinto según modelos; (5) todo ello, sin desatender la necesidad de almacenar con seguridad los datos, permitiendo además vincular modelos 3D con bases de datos bidimensionales (Remondino, 2014).

El método de trabajo propuesto (realización de calcos digitales, escaneado tridimensional del soporte, montaje de los calcos al modelo tridimensional, generación de archivos compatibles, presentación y difusión a través de plataformas web) permite acercar el carácter tridimensional del arte rupestre por dos vías: una primera bidimensional, mediante diferentes imágenes (fotografía, calcos) de cada panel, escena o motivo sobre ortofotografías rectificadas, y una segunda tridimensional, facilitando el acceso a archivos colgados en servidores como repositorio digital de libre acceso.

La aplicación de este sistema integrado de documentación y difusión representa tan sólo una primera aproximación al empleo de un método con muchas posibilidades dedicadas a la generación

de «modelos predictivos rupestres» aplicable tanto a cuevas como abrigos. Una automatización del método permitiría que se pudiesen incluir todas las variables que fuesen susceptibles de afectar a cada bien rupestre y se alcanzasen simulaciones temporales gráficas y geométricas que determinasen los diferentes procesos tanto en la realización como el deterioro sufrido. Sin duda, son planteamientos mucho más complejos y ambiciosos que necesitan tener en cuenta un conjunto de variables por consensuar entre un equipo interdisciplinar de prehistoriadores, restauradores, químicos, biólogos, geólogos, etc. Estas preconizaciones representarían un nuevo campo de aplicación en la conservación preventiva del arte rupestre entre los procesos de documentación y de difusión.

3.6.3. Arquitectura: El acueducto de Los Bañales (Uncastillo, Zaragoza)

JORGE ANGÁS / PAULA URIBE

3.6.3.1. Propuesta de reconstrucción tridimensional del acueducto de Los Bañales (Uncastillo, Zaragoza)⁸³

Los restos arqueológicos de Los Bañales⁸⁴ se encuentran situados a 14 km. de Uncastillo, en la comarca zaragozana de Las Cinco Villas. Las recientes excavaciones y la revisión de las antiguas campañas han confirmado la existencia de un asentamiento anterior, quizá un *oppidum*, que fue amortizado, en parte, por la construcción del foro de la ciudad⁸⁵.

De acuerdo a las excavaciones dirigidas por Javier Andreu, se ha podido abandonar la antigua idea de Lostal⁸⁶, para quien Los Bañales no sería propiamente una ciudad, sino un hábitat disperso en forma de *villae*. Estas se levantarían, según este autor, sobre los relieves residuales de la Val y del valle paralelo (río Riguel), aglutinando un núcleo monumental en llano, a los pies del cerro llamado El Pueyo. Asimismo, a esta hipótesis se sumó también Beltrán⁸⁷, añadiendo que en el cerro del Pueyo viviría la plebe mientras que las *villae* estarían ocupadas por la clase ciudadana más alta. Actualmente, estamos en condiciones para afirmar que el yacimiento se configuró conforme a los modelos urbanísticos exportados de la Península Itálica, contando con foro, termas y acueducto.

La plaza monumental pública, realizada sobre una *substructio de opus quadratum*, se comenzaría a construir⁸⁸ hacia el cambio de Era⁸⁹. Respecto al topónimo y a su estatuto jurídico, todavía hoy, si-

83 Esta propuesta se ha elaborado gracias a los diferentes trabajos realizados en el yacimiento arqueológico de Los Bañales entre los años 2011 y 2014. Financiados en diferentes proyectos de investigación por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, proyecto «Patrimonio hidráulico romano en el valle medio del Ebro», *Institut de Recherche sur l'Architecture Antique* (IRAA) de la *Université de Pau et des Pays de l'Adour* «Reconstrucción fotogramétrica de Los Bañales» y la Diputación Provincial de Zaragoza «Propuesta de reconstrucción tridimensional del acueducto de Los Bañales». Igualmente quiero expresar mi gratitud al interés y confianza de la Fundación Uncastillo y al responsable científico del yacimiento Javier Andreu Pintado.

84 Para una actualización sobre las investigaciones del yacimiento y la bibliografía generada hasta el momento, *vid.* Andreu (2011).

85 Bienes *et al.*, (2011). Sobre la extensión y los diferentes hallazgos pertenecientes a esta época, *vid.*: Andreu (2011: 22-26).

86 Lostal, J. (1980): *Arqueología del Aragón romano*, pp. 83-90.

87 Beltrán, F. (1976: 156).

88 Bienes *et al.* (2011).

89 Recordemos que a juzgar por los miliarios (ERZ, 19; IRMN, 1; ERZ, 11), a partir del 9 a.C., las legiones fundadoras de *Caesaraugusta*, estarían amojonando la vía que unía *Pompaelo* con *Caesaraugusta*, a través de la denominada vía *Caesaraugusta-Beneharum*.



FIG. 179. Detalle de la ortofoto realizada mediante un dron de tipo multirrotor en el año 2012 de la zona del foro (1), zona de El Pueyo (2), zona doméstico artesanal (3) y zona de la Casa del Peristilo (4).

que sin confirmarse, la cada vez más plausible hipótesis sobre que el yacimiento de Los Bañales fuese la *ciuitas foederata Tarraca*⁹⁰ citada por Plinio⁹¹.

La ciudad tuvo su florecimiento entre los siglos I y II d.C., sobre todo, en época flavia, quizá con su promoción a *municipium*. Fue en esta época cuando se construyeron la mayoría de los edificios públicos conocidos, como las termas públicas o, probablemente, el acueducto⁹². A finales del último cuarto del II d.C. y principios del III d.C., comienza la regresión urbana. La evidencia arqueológica de este hecho queda atestiguada por el abandono de diferentes sectores y la reutilización de espacios que se mantendrán –por lo menos, a falta de una secuencia estratigráfica completa del yacimiento– hasta mediados del siglo IV d.C.

A pesar de no conocer el entramado urbanístico completo de la ciudad, es importante destacar que las viviendas conocidas representan una muestra de las diferentes formas de hábitat doméstico romano. Las residencias más humildes quedarían conformadas por las casas ubicadas en el cerro de El Pueyo excavadas en

un primer momento por J. Galiay y posteriormente por A. Beltrán⁹³.

La segunda estructura, la Casa del Peristilo⁹⁴, perteneciente a las clases altas de la ciudad, cuenta con un devenir historiográfico muy similar a las viviendas de El Pueyo: comenzada a excavar en las campañas de J. Galiay, su última intervención fue realizada por el equipo de A. Beltrán en las campañas de 1976 y 1977⁹⁵. Su cercanía a las dos famosas columnas, que suponen un emblema del yacimiento, provocó que durante años esta zona fuese interpretada como una zona pública (foro o *macellum*).

Respecto al acueducto, existen todavía varias incógnitas históricas sin resolver: época de construcción, cómo se abastecía la ciudad antes de su construcción y la singular construcción de la presa de la que se abastecía. El trazado original del acueducto, desde un manantial actualmente seco, a tres kilómetros de Biota, está adaptado a la orografía del terreno con una parte excavada directamente sobre la roca a modo de canal *specus* y en la zona central conserva gran parte de los pilares originales que debieron contar en su parte superior con un canal de madera.

90 En relación a estas cuestiones ver la reciente actualización de Andreu (2011: 30-32).

91 Plin., *Nat.* 3.4.24.

92 Sobre la antigüedad de esta obra de ingeniería hidráulica, *vid.* Andreu (2011: 35); Jordán (2011: 327-330).

93 Beltrán, F. (1976 y 1977).

94 Denominada de este modo por Uribe *et al.* (2011: 241-260).

95 Para la edición crítica de los manuscritos de A. Beltrán referentes a estas campañas de excavación *vid.* Andreu (2011: 101-159).

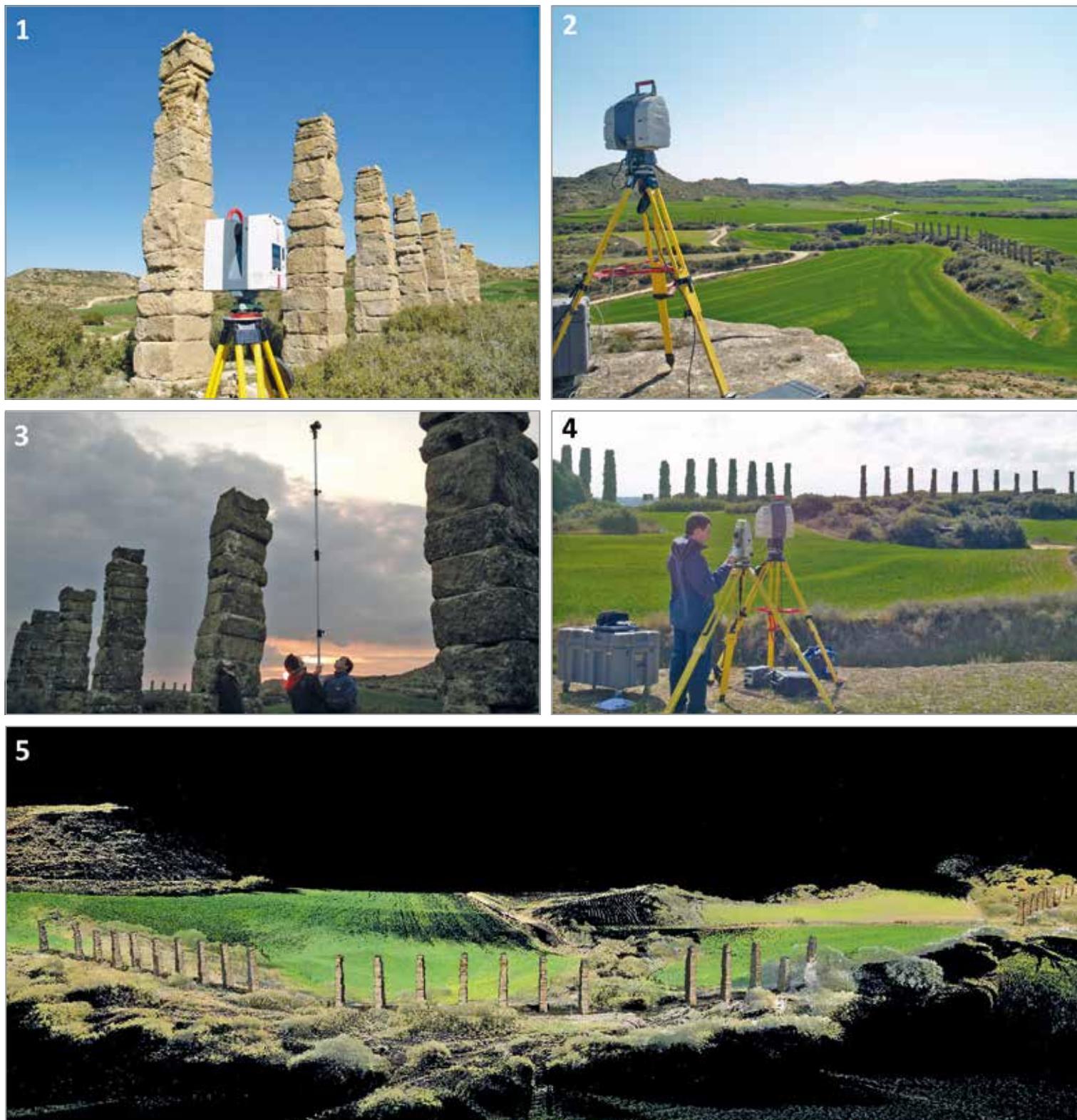


FIG. 180. Sistemas de registro empleados mediante láser escáner de diferencia de fase para cada pilar (1), láser escáner de tiempo de vuelo para todo el conjunto y entorno (2, 4), estación total para un registro en el mismo sistema de coordenadas (4), técnicas de fotogrametría terrestre mediante el empleo de una pértiga para las zonas superiores (3) y nube de puntos densa en color, combinando todas las técnicas y herramientas anteriormente citadas (5).

3.6.3.2. Objetivos del proyecto

El siguiente caso de estudio se centra, a lo largo de diferentes fases, en la documentación geométrica de los 32 pilares que se conservan del acueducto de Los Bañales junto con su entorno más próximo. Para ello, podemos dividir el trabajo en:

a) Documentación mediante láser escáner 3D terrestre de diferencia de fase y tiempo de vuelo del entorno de los pilares.

b) Documentación fotogramétrica aérea.

c) Generación del modelo tridimensional de la zona de estudio, combinando los datos de dos escáneres 3D (tiempo de vuelo y diferencia de fase) y los datos fotogramétricos.

d) Reconstrucción *ex novo* sobre el modelo mallado *as built*, con el objetivo de generar una hipótesis sobre la tipología arquitectónica del acueducto.

- e) Generación de un video explicativo que conjugue cada uno de los procesos y explique la hipótesis arqueológica sobre la reconstrucción *ex novo*.

De este modo, la finalidad del proyecto trata de conjugar el trío formado por el registro tridimensional, el análisis arqueológico y la difusión social de la hipótesis sostenida. Así, el reto afrontado con este caso de estudio ha sido establecer un equilibrio entre una hipótesis arqueológica y unos recursos tridimensionales donde primase más el conjunto arquitectónico que el medio tridimensional, para que únicamente sirviese de herramienta transmisora de una idea basada en un estudio científico, constituyendo este último un medio complementario para su conocimiento.

3.6.3.3. Técnicas utilizadas

A. Documentación geométrica

Las técnicas de documentación han consistido en la combinación de un escáner de diferencia de fase para registrar las zonas contiguas a cada uno de los pilares, adaptando una estrategia de estacionamientos en zigzag que permitiese el escaneado por ambos sentidos longitudinales, permitiendo de esta forma el menor número de sombras posibles, y combinando un escáner de tiempo de vuelo

para aprovechar la distancia desde los dos extremos del acueducto, por un lado, desde la ladera Este del Pueyo de Los Bañales y en el otro extremo desde Puy Foradado. La ventaja en el empleo de este sistema se debe a la distancia de captura de datos hasta algo más de 250 metros, que además, desde ambas zonas elevadas, permite la documentación del entorno inmediato en el que se inscribe el acueducto. Aunque los tiempos de captura son bastante elevados, debido a la tecnología de tiempo de vuelo, la combinación de ambos escáneres permite una alineación de ambas nubes de puntos obteniendo un registro completo del área de estudio.

Para la documentación de las zonas más elevadas de cada pilar se optó, en un primer momento, por un sistema de pértiga, pero dadas las dificultades, debido a su altura, se eligió posteriormente un dron de tipo multirroto, utilizando técnicas de fotogrametría aérea de baja altura e imagen esférica aérea.

La alineación de cada una de las nubes de puntos (TLS y fotogrametría) se realizó por medio de dianas previamente capturadas con el distanciómetro láser de una estación total, que a su vez, a modo de prevención, originó la generación de un sistema de coordenadas local que permitirá en el futuro discernir cualquier comprobación de verticalidades y patología estructural que pudiese sufrir algún pilar.



FIG. 181. Proceso de documentación aérea mediante fotogrametría aérea de baja altura con un dron.



FIG. 182. Modelo tridimensional mallado del acueducto sobre un MDT en su estado actual adquirido con la combinación de técnicas: escáner de tiempo de vuelo, diferencia de fase y fotogrametría terrestre y aérea.

Esta técnica de monitorización o auscultación es prácticamente similar a la empleada en otro tipo de actividades más ligadas a la ingeniería como la de las presas o pilares de viaductos que, mediante puntos de control, permite detectar cualquier cambio morfológico. Además, en el caso de los pilares se puede realizar un estudio periódico más completo respecto a la verticalidad de cada una de sus caras, horizontalidad, cálculos de volumen, etc.

B. Reconstrucción digital

Para realizar la base del modelo que ha permitido realizar la hipótesis arqueológica, se trabajó, en primer lugar, con el modelo mallado obtenido de la nube de puntos alineada en formato estándar vrmf con color (FIG. 182) de la interpolación de cada uno de los puntos. Posteriormente, dado que no era un factor prioritario, en las siguientes fases se prescindió del color proporcionado. Este modelo, debido a la vegetación de matorral bajo que envolvía a muchos de los pilares en las zonas bajas, tuvo que tratarse con especial atención y limpieza sobre el modelo resultante para prescindir de aquellas zonas que era necesario eliminar para evitar un mallado erróneo. Una vez obtenido el modelo limpio pero incompleto de las zonas con vegetación, se procedió a su modelado teórico mediante el programa *Reshaper* (FIG. 183). La hipótesis de este modelo arquitectónico propuesto se ha basado en cada uno de los aspectos técnicos que aborda el estudio de Viartola (2011: 169-198) «El acueducto de Los Bañales» y Viartola *et al.* (2013) «The Roman Aqueductbridge of Los Bañales (Uncastillo, Spain)».

La creación de un modelo simplificado sobre la malla triangulada previa permite:

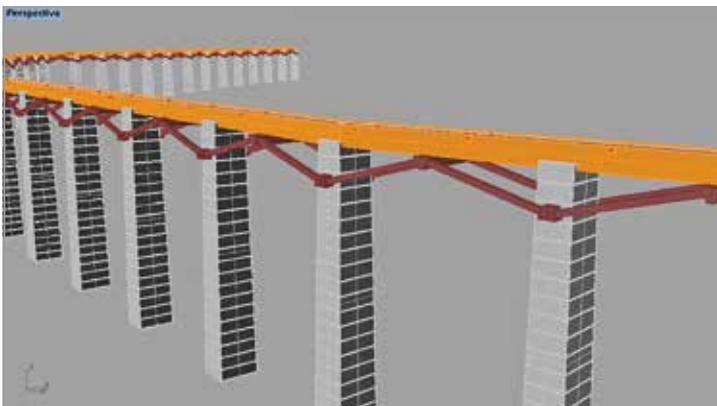


FIG. 183. Reconstrucción tridimensional mediante una superficie parametrizada de la arquitectura del acueducto sobre la base del modelo 3D escaneado.

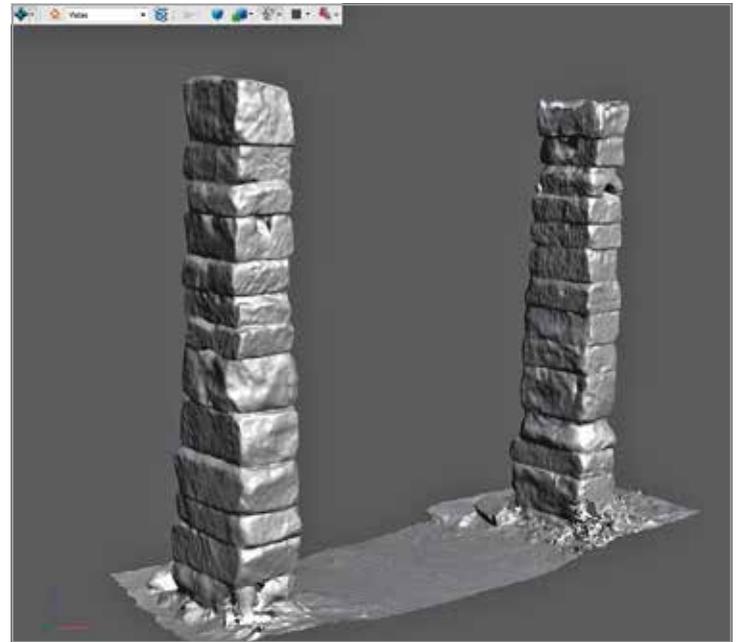


FIG. 184. Ejemplo de dos de los pilares en un formato geométrico PDF 3D sin textura gestionado en un árbol de capas con secciones horizontales y verticales.

- Respetar la geometría relativa concreta de cada pilar.
- Respetar la relación absoluta entre los diferentes pilares ya que el trabajo se realiza dentro del mismo sistema de coordenadas.

En este sentido, el modelo final obtenido en formato CAD tiene una geometría parametrizada, mucho más simplificada que la triangulación inicial, lo que permite realizar cualquier tipo de modificación en su estructura.

3.6.3.4. Resultados y conclusiones

Los resultados se han articulado en tres apartados:

a) Documentación geométrica para un análisis estructural del acueducto

- Nubes de puntos de todo el conjunto documentado en formato estándar x, y, z, RGB y ReCap de Autodesk (FIG. 180-5).



FIG. 185. Ejemplo del alzado de los diferentes tramos conservados de los pilares sobre el modelo tridimensional.

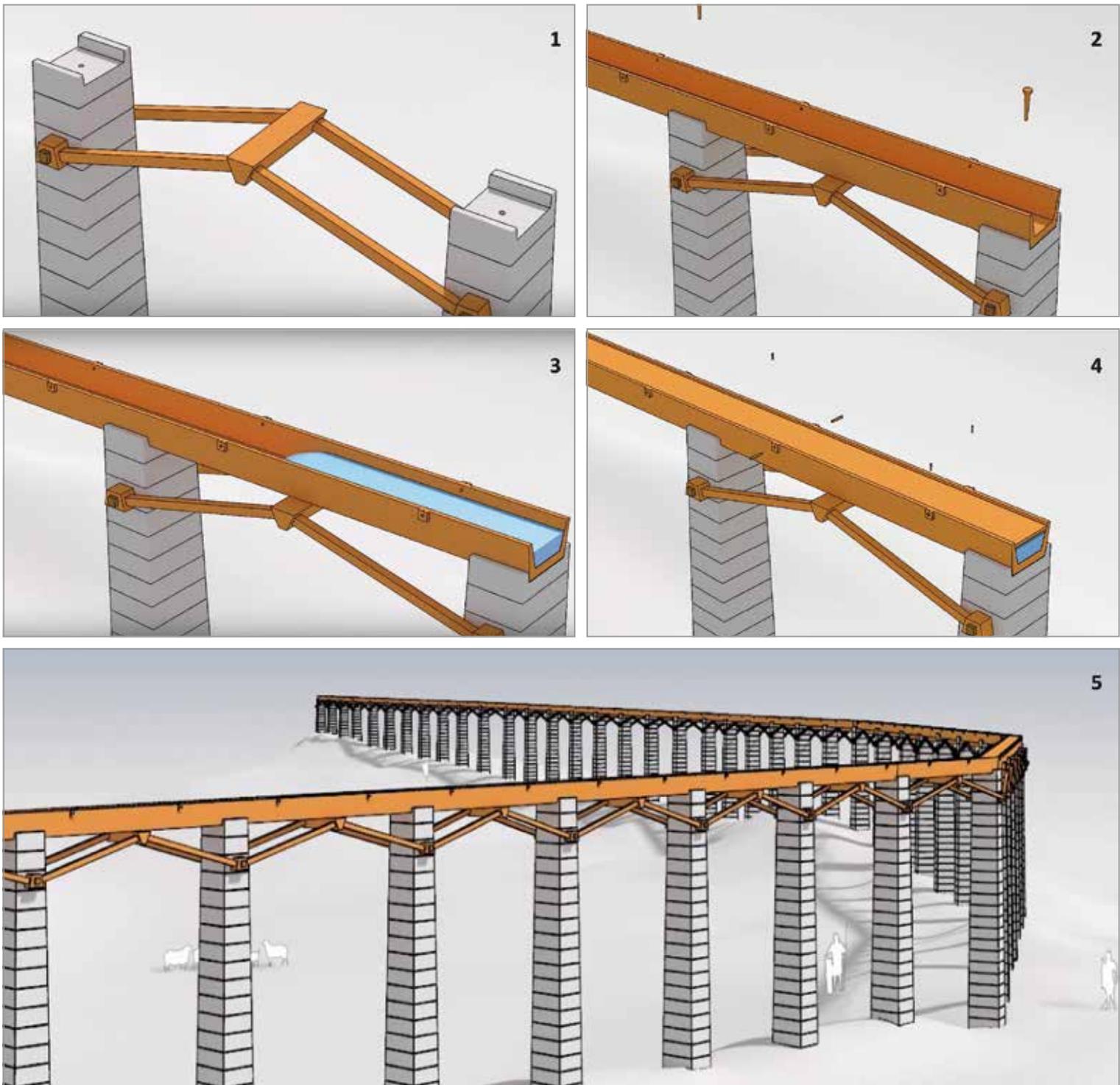


FIG. 186. Propuesta de las diferentes fases de reconstrucción tridimensional del acueducto del yacimiento arqueológico de Los Bañales, basadas en el registro geométrico combinado entre láser escáner, técnicas fotogramétricas e hipótesis según Viartola (2011).

- Modelos 3D en formato PDF3D de cada uno de los pilares, habilitando un árbol de capas con secciones verticales y horizontales cada uno de los pilares (FIG. 184).
- Visualizador métrico (*Truview*) de la nube de puntos en formato html para Internet Explorer con el objetivo de localizar coordenadas y mediciones.

b) Documentación geométrica y gráfica para hipótesis arqueológica

- Modelo tridimensional parametrizado sobre la base del escaneado, reconstruyendo cada una de las partes según la hipótesis de Viartola (2011) (FIG. 186).

c) Documentación didáctica

- Diferentes vistas esféricas aéreas que reproducen un punto en el espacio de manera inmersiva. Permiten observar desde una perspectiva elevada todo el conjunto facilitando su comprensión.
- Diferentes herramientas didácticas en la página web del proyecto tales como «cuaderno del profesor», descriptivas, glosario de términos, etc. (FIG. 187).
- Video del modelo tridimensional *as built* con diferentes vínculos que enlazan con vistas esféricas de una selección de puntos tomados para su escaneado.



FIG. 187. Página web del proyecto con todas las funcionalidades descritas de información historiográfica, didácticas, métricas, gráficas e infográficas.

- Video didáctico del proyecto de reconstrucción tridimensional que explica el procedimiento de las técnicas de construcción empleadas y la funcionalidad del acueducto como hipótesis arqueológica: https://youtu.be/NtYVsAFV_xw
- Página web del proyecto patrimonio hidráulico romano en el valle medio del Ebro en el que se inscribe el acueducto de Los Bañales dentro del ciclo de distribución del agua en el mundo romano y distinguiendo el resto de tipologías arquitectónicas existentes (*vid. apdo. 3.4.1*). http://www.3dscanner.es/Patrimonio_hidraulico_romano/

3.6.4. Arqueología: El Cabezo de La Cruz (La Muela, Zaragoza)

3.6.4.1. Introducción

El yacimiento arqueológico del Cabezo de la Cruz (Picazo / Rodanés, 2009) está situado en una colina en el término municipal de La Muela en el valle del río Huerva, junto a Mozota, a 25 kilómetros aproximadamente de Zaragoza. El descubrimiento científico fue realizado en 1975 por Javier Fanlo y publicado, por primera vez, conjuntamente con Francisco Burillo, en 1979. Se trata de uno de los principales yacimientos de la Primera Edad del Hierro del valle medio del Ebro, que, debido a las obras de construcción de la Autovía Mudéjar A-23, fue parcialmente destruido en el año 2004.

Previo a esta destrucción, propuesto en mayo de 2003, se elaboró un anteproyecto como «pliego de prescripciones técnicas para la excavación del Cabezo de la Cruz» que garantizase una excavación de urgencia de la zona afectada por dicha obra civil. De este modo, se excavó y documentó desde febrero hasta agosto de 2004 por un equipo multidisciplinar dirigido por José María Rodanés y Jesús Vicente Picazo del Departamento de Ciencias de la Antigüedad de la Universidad de Zaragoza⁹⁶. La metodología desarrollada en este proyecto de reconstrucción tridimensional, únicamente ha tenido en cuenta los datos de la última intervención de 2004 gracias al sistema de registro realizado.

3.6.4.2. Objetivos

La reconstrucción digital con el material legado 11 años después de la excavación arqueológica, constituye un reto que pretende abrir

⁹⁶ Queremos agradecer la disponibilidad y confianza a los dos responsables científicos de la última intervención de 2004 en el Cabezo de la Cruz, Jesús V. Picazo y José María Rodanés del Departamento de Ciencias de la Antigüedad de la Universidad de Zaragoza. Esta gratitud es doble por permitimos formar parte en el equipo de trabajo de la excavación de 2004 y once años después por prestarnos los materiales para poder formular este tipo de reconstrucciones arqueológicas totalmente inconcebibles en su momento.



FIG. 188. Estado actual del Cabezo de la Cruz a su paso desde la autovía A-23 correspondiente a la zona de la excavación arqueológica de 2004.

una nueva línea de reinterpretación de una parte de la documentación del patrimonio cultural, sobre todo aquella que no se conserva físicamente o que tiene problemas de conservación. La diferencia resulta clarividente respecto a los proyectos descritos con anterioridad ya que no se parte de una documentación adquirida para tal finalidad, sino que se cuenta con una recolección muy variada de información de estructuras, objetos y sedimentos que fue adquirida antes de que el yacimiento quedase parcialmente desmontado en el año 2004 por la construcción de una autovía. Por el contrario, en una clara similitud con el resto de ejemplos de reconstrucción tridimensional anteriormente descritos (*vid. supra caps. 3.6.2 y 3.6.3*), se trata de una parte del patrimonio arqueológico, que ha quedado destruido debido, en este caso, a la construcción de una obra pública.

En consecuencia, el objetivo que plantea este proyecto trata de obtener una restitución en el momento final de la excavación de 2004, basándose en los datos obtenidos a partir de técnicas fotogramétricas de correlación automática de imágenes para obtener una reconstrucción tridimensional. Todas estas imágenes fueron tomadas en diferentes momentos en el transcurso de la excavación de 2004, con diverso material fotográfico –cámaras y objetivos– a diferentes alturas y resoluciones junto con una base topográfica



FIG. 189. Imagen superior: estado actual del Cabezo de la Cruz a su paso desde la A-23 correspondiente a la zona de excavación de 2004. Imagen inferior: cuadrícula de la excavación (en rojo), topografía de la excavación (en blanco) y curvas de nivel originales del Cabezo. Superposición con la ortofoto actual con la Autovía A-23. Información calculada y adaptada al nuevo sistema de coordenadas UTM ETRS89 sobre los datos de Picazo / Rodanés (2009).