



APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DIGITALES PARA LA RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA VILLA ROMANA DE SALAR (GRANADA, ESPAÑA): UN EJEMPLO DE TRANSFERENCIA DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO

APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES FOR VIRTUAL RECONSTRUCTION OF THE ROMAN VILLA OF SALAR (GRANADA, SPAIN): AN EXAMPLE OF ARCHAEOLOGICAL HERITAGE TRANSFER

Manuel Moreno Alcaide^{a,*}, Julio M. Román Punzón^b, Miguel Valdivia García^c

^a Department of Historical Science, University of Málaga, Campus de Teatinos, 29010 Málaga, Spain. mmorenoalcaide@uma.es

^b Department of Medieval History, University of Granada, Campus de Cartuja, s/n, 18071 Granada, Spain. romanp@ugr.es

^c CEO, Ideosmedia Estudio Creativo, San Anton Street 72, 18005 Granada, Spain. miguel@ideosmedia.com

Lo más destacado:

- Este trabajo profundiza en el estudio de la villa romana de Salar (Granada) a partir de la aplicación de técnicas digitales para su recreación 3D con la intención de contribuir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).
- Desarrollo metodológico para la recreación virtual de las estructuras excavadas con el uso de procedimientos fotogramétricos y aplicación de programas basados en motores de videojuego.
- El resultado de este trabajo tiene como objetivo final la divulgación y puesta en carga social de la villa romana de Salar a través de su transferencia en una página web.

Extended Abstract:

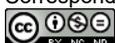
The mechanical earthworks caused by the construction of a wastewater treatment plant in the municipality of Salar (Granada, Spain) (Fig. 1) in November 2004, brought to light various material remains dating from Roman times. After several years of archaeological interventions, and fundamentally, since the archaeological direction was taken over by a scientific team from the University of Granada in 2016, the Roman villa of Salar has been placed among one of the most important agricultural facilities of Roman *Hispania*, thanks to its exceptional architecture and the good conservation of its decorative elements as well.

Only a large part of the aristocratic residence has been excavated. This constitutes a minimal section of what must have been an enormous rural exploitation, in view of the wealth and luxury shown by the excavated sections of the *pars urbana* corresponding to the Late Empire. The villa's construction during the 4th century AD entailed a profound transformation of the landscape of the Canuto site. The articulation of the different rooms of the villa on terraces, on at least three different levels, made it necessary to carry out important work to lower and cut the terrain, which had a decisive effect on the buildings described above. The architecture and decorative elements of the *pars urbana*, constructed according to the orders of its *dominus*, help us to understand the social realities of this rural enclave in the 4th century AD and the magnitude of the changes which took place (Fig. 2). Next to the peristyle is an apsidal space that opens directly onto the northwestern ambulatory in the central part, on the same axis as the entrance to the *triclinium*. Of these rooms, the most outstanding is located on an axis with the peristyle and the *triclinium*, marking the spaces' profound symmetry and theatricality.

Regarding the research project, since its inception, it has been characterised by pursuing three fundamental objectives: research, conservation and transfer of the knowledge generated to society, based on an interdisciplinary work methodology, where the implementation of digital techniques for archaeological documentation has been an essential basis for its development (Rosa Henestrosa, Román Punzón, Moreno-Alcaide & Ruiz Montes, 2022). The methodology used in the reconstruction is based on the criteria established for Virtual Archaeology, based on the Seville Principles (López-Mencheró & Grande, 2011). To do this, we formed an interdisciplinary team made up of professionals from archaeology, architecture and engineering, which has made it possible to generate a model with high historical rigour and great technical quality.

Starting from the previously analysed work, generated from the interpretations of the archaeological excavations, a new planimetry was developed in vector Computer-Aided Design (CAD) format that would later allow it to be used as a basis for the three-dimensional (3D) modelling of the Roman villa (Fig. 5). With this vector planimetry, the hypothetical architectural sections of the building were also created, as well as the geometric bases for the geometric mosaics that the

* Corresponding author: Manuel Moreno Alcaide, mmorenoalcaide@uma.es



villa had. The first volumetric fit in the 3D modelling phase also served to answer questions related to the heights of the rooms and the resolution of the building's roofs. The Autodesk 3D Studio Max software was used to create the 3D modelling, and the Adobe Photoshop and Adobe Substance 3D Painter were used to create the textures. The project worked on the preparation of two different models of the 3D recreation, one for rendering infographics and 3D panoramas using the V-Ray rendering engine from Chaos Group and another for rendering in the Unreal Engine rendering engine from Epic Games.

The result can be consulted through a public website where the user can take a virtual visit to the current state of the excavation and the reconstructive interpretation in 3D, with different information on the historical and building phases, the planimetry and location, an audio-visual and 3D infographics, both in Spanish and English.

Keywords: archaeological heritage; documentation; virtual archaeology; 3D model; Roman villa; Baetica

Resumen:

La villa romana de Salar (Salar, Granada) se ha convertido en uno de los principales referentes de la arquitectura rural de época romana en *Hispania*. El proyecto de investigación iniciado desde el año 2016, en colaboración entre el Ayuntamiento de Salar y la Universidad de Granada, ha supuesto el desarrollo de campañas de excavación estivas ininterrumpidas hasta la fecha. Estas intervenciones se han centrado en tres zonas (A, B y C), siendo objeto de este artículo las zonas A y B donde se ha excavado una zona de la *pars urbana* de una lujosa villa construida en el siglo IV d.C., sobre estructuras previas de época altoimperial. Destacan especialmente su articulación en torno a un peristilo, así como sus espacios de representación, triclinio, su rica decoración musiva, parietal y escultórica y sus innovadoras técnicas constructivas, como la empleada en la sala abovedada. Respecto al proyecto de investigación, desde su inicio se ha caracterizado por perseguir tres objetivos fundamentales: de investigación, conservación y transferencia del conocimiento generado a la sociedad, partiendo de una metodología de trabajo interdisciplinar, donde la implementación de técnicas digitales para la documentación arqueológica ha sido base imprescindible para su desarrollo. En la presente publicación presentamos la aplicación de técnicas digitales para la documentación arqueológica de la villa romana de Salar y su posterior reconstrucción hipotética, partiendo de un riguroso estudio científico previo y basado en los principios de la arqueología virtual. El resultado puede consultarse a través de una web de uso público donde se puede realizar la visita al estado actual de la excavación y a la interpretación reconstructiva en 3D, con diferentes informaciones sobre las fases históricas y edilicias, la planimetría y localización, un audiovisual e infografías en 3D, tanto en español como inglés.

Palabras clave: patrimonio arqueológico; documentación; arqueología virtual; modelado 3D; villa romana; Baetica

1. Introducción

La arqueología, especialmente la realizada desde el ámbito universitario, tiene como fuente principal de financiación a las instituciones y administraciones públicas. Sin embargo, desde la academia se ha tendido a prestar escasa atención a una de sus obligaciones, la transferencia y puesta en carga social del patrimonio, en este caso, arqueológico. La ciudadanía, como contribuyente, tiene derecho a recibir un conocimiento científico a partir de los diferentes canales de divulgación y difusión que los investigadores tenemos a nuestro alcance. En este sentido, y especialmente desde la emergencia sanitaria vivida desde 2020, se han multiplicado las iniciativas de digitalización del patrimonio, que buscan, además, solventar los problemas planteados desde la Agenda 2030 y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Para la consecución de estos objetivos, la transición digital supone una de las herramientas fundamentales. Sin embargo, muy frecuentemente las áreas rurales se ven desprovistas de algunos de estos recursos, necesarios para luchar, por ejemplo, contra la despoblación, uno de los grandes retos a los que debe hacer frente la Unión Europea (Camarero et al., 2009; Kordel, Weidinger & Jelen, 2018). Estos objetivos, que abarcan los grandes desafíos de la Humanidad, tienen la intención de crear un contrato social global que persiga la protección del planeta, la igualdad e inclusión universal o el desarrollo sostenible.

La arqueología virtual está llamada a ser una de las herramientas necesarias para alcanzar el éxito de esta transición digital en las áreas rurales (López Sánchez & Bermejo Meléndez, 2023; Cáceres-Criado, Triviño-

Tarradas, Valderrama-Zafra & García-Molina, 2022) tal y como ha sido puesta en práctica en otros ámbitos como el educativo (Gisbert, 2019) o el entretenimiento (Andreu, Ibero & Serrano, 2022; Ferdani, Fanini, Piccioli, Carboni & Vigiariolo, 2020).

Experiencias similares a la que presentamos aquí de recreaciones virtuales de ambientes villáticos romanos se han realizado ya en algunos de los principales ejemplos hispanos como serían los casos de Carranque (<https://n9.cl/c33ud>; López-Mozo, Rabasa-Díaz, Calvo-López, Alonso-Rodríguez, & Sanjurjo-Álvarez, 2022) la Olmeda (<https://n9.cl/4x79z>) o Noheda (Valero & Huete, 2016), entre otras. En esta contribución, además, destacamos las ventajas de la aplicación de tecnologías de renderizado en tiempo real que ya han sido probadas con éxito en la reconstrucción virtual del patrimonio arqueológico en diferentes cronologías (Rodríguez, Casals & Celestino, 2023; Rodríguez-Hernández, Álvarez-Sanchís, Aparicio-Resco, Maté-González & Ruiz-Zapatero, 2021).

El marco de aplicación de estas técnicas digitales es la villa romana de Salar (Salar, Granada), un excepcional yacimiento arqueológico que destaca por su buen estado de conservación y la importancia de sus hallazgos arquitectónicos (Román Punzón, Moreno Alcaide, Ruiz Montes, Noguera Ramos & Peralta Gómez, 2022) y decorativos (Loza Azuaga, Beltrán Fortes, Román Punzón, Ruiz Montes, Moreno Alcaide & Fernández García, 2021).

Desde este proyecto se ha trabajado activamente para la transferencia del conocimiento generado a la sociedad y la comunidad más próxima (Román Punzón, Moreno-Alcaide, Ruiz Montes & Ramos Noguera, 2018), así como implementado estas técnicas para la documentación

arqueológica (González Ballesteros, Gómez Carrasco, Hernández Robles & Eiroa Rodríguez, 2023; Rosa Henestrosa, Román Punzón, Moreno-Alcaide & Ruiz Montes, 2022). En este sentido, es indudable la importancia que está adquiriendo, por ejemplo, la técnica de la fotogrametría digital para la documentación gráfica en arqueología (Chapinal-Heras, Díaz-Sánchez, Gómez-García, España-Chamorro, Pagola-Sánchez, Parada & Rey-Álvarez, 2024). Las razones principales para ello, ampliamente publicadas (Maldonado, 2020) son: la excepcional calidad, en términos de detalles y precisión métrica, que ofrecen los modelos realizados mediante esta técnica, la rapidez de la toma de datos en campo, la multitud de vistas gráficas que se puede obtener a partir de dicho modelo, así como, en líneas generales, su bajo coste.

Por tanto, este estudio parte del doble objetivo de investigación histórica y de divulgación científica de la villa romana de Salar a través de una visita virtual al yacimiento arqueológico accesible al público desde la web <https://www.villaromanasalar3d.com>. De esta manera, el usuario puede realizar la visita virtual al estado actual de la excavación y a la interpretación reconstructiva en 3D, con diferentes informaciones sobre las fases históricas y edilicias, la planimetría y localización, un audiovisual e infografías en 3D, tanto en español como inglés.

2. La villa romana de Salar (Salar, Granada)

Salar es un pequeño pueblo de 2617 habitantes (INE 2023) de la provincia de Granada. Debido a su ubicación y las dinámicas poblacionales actuales, vive muy de cerca el reto de luchar contra la despoblación, apoyándose y apostando por la gestión de su patrimonio arqueológico, histórico y cultural a partir de la aplicación de tecnologías digitales.

La villa romana se ubica muy próxima a la actual autovía A-92, que cruza transversalmente toda la Vega de Granada. Esta carretera no es más que la fosilización de una antigua vía que ya desde época prehistórica conecta las tierras granadinas. No es cuestión baladí resaltar la ubicación de la villa y su proximidad al estrechamiento que se produce entre la Sierra de Loja y el Monte Hacho, siendo éste el único paso natural entre el límite occidental de la Vega de Granada y la depresión de Antequera, un punto estratégico de conexión directa con el Valle del Guadalquivir a través del río *Singilis*, actual Genil (Fig. 1).

El descubrimiento de las primeras estructuras se produjo en el año 2004 debido a las obras de construcción de una estación depuradora de aguas residuales. La convergencia de los restos conservados, y la presión ciudadana, permitieron paralizar su construcción, aunque sin haber podido evitar el deterioro y destrucción de pavimentos y alzados murarios. Tras diversas vicisitudes, se inician las primeras campañas de excavación entre los años 2011 y 2013 en las que se documentaron diversas estancias pertenecientes a una lujosa residencia rural. Entre las habitaciones más destacadas de la *pars urbana* se excavaron el *triclinium* presidido por un ninfeo; el *ambulacrum* oriental y una pequeña parte del meridional; así como una estancia sin conexión directa con las anteriores. Esta amplia área se ha denominado Zona A.



Figura 1: Ubicación de la villa romana de Salar (Salar, Granada).

Tras algunos años de abandono del yacimiento, en el año 2016 se inicia un nuevo ciclo bajo un Proyecto General de Investigación (en adelante, PGI) coordinado por la Universidad de Granada con el objetivo prioritario de avanzar en la investigación, así como en la recuperación y puesta en valor del yacimiento. Desde entonces hasta la actualidad, se han realizado campañas estivas de excavación, de forma ininterrumpida, pese a la emergencia sanitaria. En el año 2017 se abrió una nueva zona de excavación (Zona B) que ha permitido conocer con mayor profundidad la estructuración de la villa, destacando especialmente el *ambulacrum* occidental solado con un impresionante mosaico figurado de temática cinéptica. Asimismo, dentro del registro material de objetos muebles recuperados, destaca la escultura de una Venus púdica, de tipo Capitolina, descubierta en la campaña del año 2018. Desde el año 2021, y con la intención de alcanzar los objetivos planteados dentro del PGI, se abrió una nueva zona de excavación (Zona C) para aproximarnos al conocimiento de la *pars rustica* de la villa, tras la realización de una prospección geofísica que indicaba la presencia de nuevas estructuras. Las intervenciones realizadas entre los años 2021 y 2023, no sólo han permitido contemplar

la existencia de estructuras productivas de época altoimperial, sino su obliteración y amortización para la construcción, a partir de la segunda mitad del siglo V d.C., de un nuevo edificio de carácter residencial, de grandes dimensiones. Estos hallazgos, aún en estudio, adquieren un altísimo valor histórico, ya que no existen paralelos en la Bética de esta tipología residencial en esta cronología (Fig. 2).

El lugar donde se ubica la villa romana de Salar estuvo poblado desde época prehistórica (siglos IX-VI a.C.) con un posible hábitat esporádico vinculado con el aprovechamiento de los recursos que propicia este paraje junto al arroyo Salar. Esta ocupación se hace más frecuente entre los siglos V al I a.C., información que obtenemos gracias a los sondeos realizados en la campaña del año 2016. Estas dos fases se corresponderían con el primer periodo de ocupación, previo a la instalación de las primeras estructuras agropecuarias de época romana.

El Periodo 2, subdividido en 5 fases, abarca desde la fundación de la villa romana, sus diversas reformas y fases constructivas hasta su destrucción y abandono tras un incendio durante el siglo VI d.C. La recreación arquitectónica que presentamos pertenece a la villa construida en el siglo IV d.C. (Fase IV). Sin embargo, hoy sabemos que esta edificación se erige sobre una fundación previa, probablemente construida entre los reinados de Tiberio y Claudio, es decir, en la primera mitad del siglo I d.C. (Fase III), de la que conocemos algunas estructuras en las Zonas A y C. La monumental villa construida en el siglo IV es objeto de diversas reformas, especialmente de sus pavimentos musivos, durante la primera mitad del siglo V (Fase V), para ser paulatinamente abandonada durante la segunda mitad de esta centuria (Fase VI), cuando se produce una reocupación de algunos de los antiguos espacios señoriales con un hábitat doméstico de cierto carácter marginal, en contraposición a la construcción del nuevo edificio documentado en la Zona C. Finalmente, durante las primeras décadas del siglo VI se produce la destrucción definitiva debido a un incendio que queda constatado tanto en el *triclinium* como en la sala abovedada (Fase VII).

El excepcional estado de conservación que presentan actualmente las estructuras del siglo IV y V se debe a su definitivo sepultamiento provocado por la colmatación producida por sucesivas avenidas de arcillas y barros procedentes del cercano arroyo Limones (Periodo 3). Este hecho sumió en el olvido la existencia en este lugar de aquella rica explotación agrícola romana, convirtiendo el paraje en un fértil espacio agrícola desde época islámica hasta la actualidad (Fase VIII).

3. Planificación del proyecto de recreación virtual y proceso de adquisición de datos

El proceso de trabajo seguido en la recreación virtual de la villa romana de Salar parte de la información aportada por las campañas de excavación, que desde el año 2016, se llevan a cabo de forma ininterrumpida cada mes de agosto. La metodología utilizada en la reconstrucción parte de los criterios establecidos por la Arqueología Virtual, basada en los Principios de Sevilla (López-Menchero & Grande, 2011), teniendo presente, además, las experiencias y reflexiones previas sobre su funcionalidad y ventajas. Para ello, conformamos un equipo interdisciplinar compuesto por profesionales de la arqueología, la arquitectura y la ingeniería, lo que ha posibilitado generar un modelo con un alto rigor histórico y gran calidad técnica.

Las publicaciones previas sobre la villa romana de Salar supusieron un importante punto de partida para determinar los paralelos más próximos para este tipo de instalaciones agropecuarias, especialmente su *pars urbana*, con amplios ejemplos en suelo hispánico, africano e itálico.

El flujo de trabajo que presentamos refleja, en primer lugar, la adquisición de datos en las intervenciones arqueológicas, para analizar posteriormente el proceso de recreación virtual.

3.1. Metodología y documentación gráfica generada durante las intervenciones arqueológicas

El proceso de documentación gráfica del patrimonio arqueológico sigue siendo, hoy en día, la base fundamental sobre la que se sustenta el registro arqueológico. Desde esta premisa, la metodología de trabajo desarrollada parte del levantamiento fotogramétrico de cada una de las unidades estratigráficas exhumadas en cada sondeo (Rosa Henestrosa *et al.*, 2022), lo que nos ha permitido tener un seguimiento diacrónico del proceso de excavación (Dell'Unto, Landeschi, Apel & Poggi, 2017), georreferenciado con el apoyo de la instrumentación topográfica.

Para el estudio fotogramétrico, utilizamos una cámara réflex digital Canon EOS 750D con un sensor CMOS de 24.2 MP que nos permite reducir los efectos de vibración de la cámara durante la captura de fotografías. El objetivo focal de 35 mm permite realizar fotografías con un ángulo de visión abierto. Los parámetros de la cámara varían según las unidades y el tipo de luz en el momento de la toma, aunque de forma general tienen un ISO bajo. El resto de los parámetros (apertura y velocidad) dependen de la luz y del momento concreto de la toma.

Asimismo, la técnica de barrido empleada para la captura fotográfica se ha basado en una doble técnica empleada para superficies planas, mediante los solapes laterales, y superiores e inferiores, a modo de mosaico (Charquero, 2016), y otra, que consiste en el solape de fotos en forma circular, que rodean el sector a documentar (Fig. 3).

Para la generación de los modelos 3D se ha optado por el programa informático Agisoft Metashape v. 1.7.1, basado en la técnica SfM (*Structure from Motion*), que nos ha permitido obtener los ortomosaicos necesarios para el dibujo arqueológico, así como modelos digitales del terreno (MDT). El equipo con el que los realizamos es un dispositivo portátil de 64 bits, con una memoria RAM de 16 GB y una tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GTX 1060 6 GB.

Previamente a la creación del modelo es esencial que dispongamos de una organización de carpetas que contengan la información de cada uno de los sondeos, donde se aloja la superposición evolutiva del proceso de estratificación arqueológica. Cada carpeta consta de las fotografías tomadas en campo, las diferentes rutinas y flujos de trabajo (nube de puntos dispersa optimizada, la nube de puntos densa, el modelo 3D texturizado) para, finalmente, obtener los modelos digitales de elevaciones y los ortomosaicos.

Como herramienta adicional, en campo utilizamos un receptor topográfico Global Positioning System Real Time Kinematic (GPS RTK) Reach RS+ monofrecuencia de máxima precisión con aplicación de control para realizar levantamientos, toma de puntos y navegación, que ha permitido georreferenciar los modelos en coordenadas X-Y-Z y valores UTM.

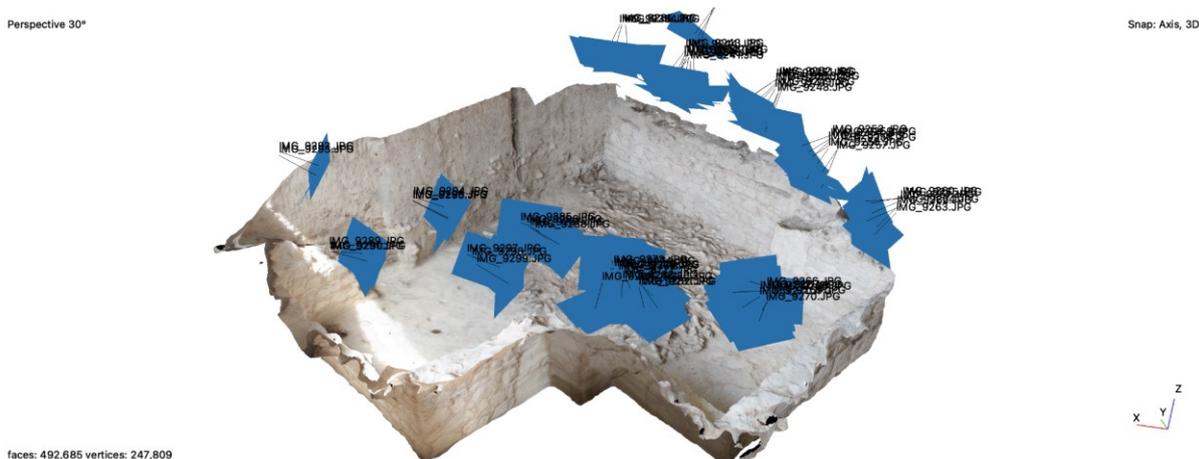


Figura 3: Ejemplo de estrategia de captura de fotografías en el sondeo 3.

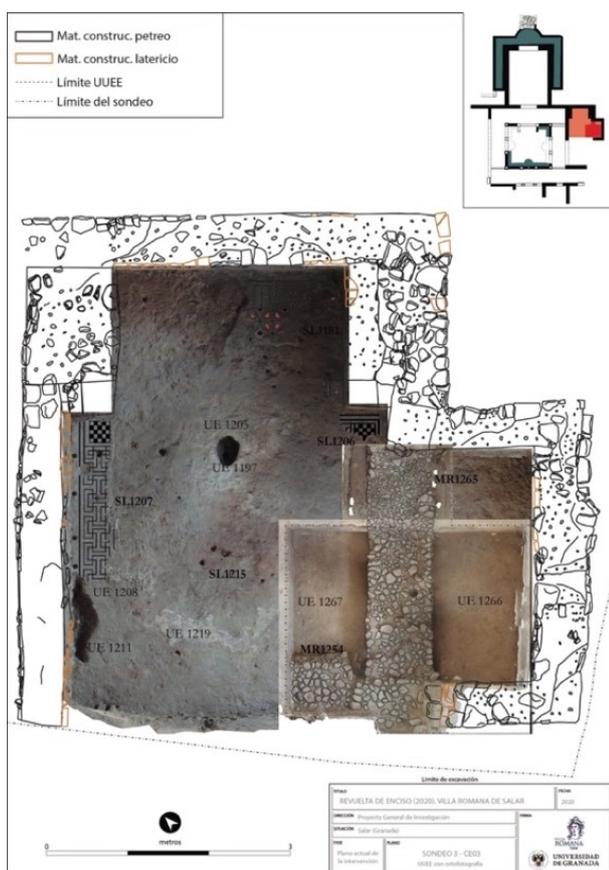


Figura 4: Planimetría final del sondeo 3 a partir del ortomosaico.

Estos modelos digitales georreferenciados son implementados en una base de datos espacial en un entorno basado en los Sistemas de Información Geográfica (SIG). El programa elegido para el desarrollo de este trabajo fue QGIS, un software libre y de código abierto. Éste se complementa con el uso de herramientas de tipo vectorial Computer Aided Design (CAD), en nuestro caso, AutoCAD v. 2022, que permite la restitución gráfica mediante vectores de cada una de las unidades estratigráficas (sedimentarias, construidas y negativas) de las estructuras de la villa romana de Salar (Fig. 4).

3.2. Proceso de trabajo para la recreación 3D

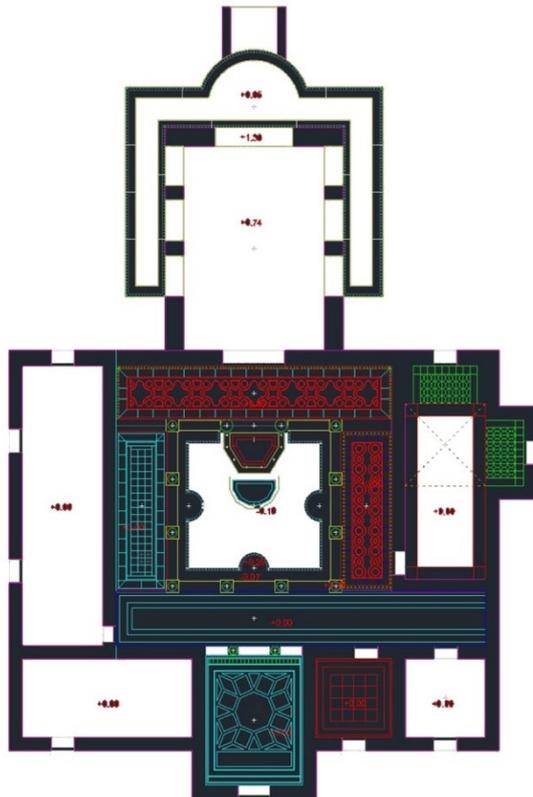
Con todo este bagaje previo de documentación arqueológica, iniciamos el proceso de trabajo para la recreación 3D de la villa romana de Salar, lo cual conllevó el uso y aplicación de varias tecnologías digitales con la finalidad de obtener diversos recursos interpretativos para la difusión y puesta en valor del yacimiento arqueológico.

Partiendo del trabajo anteriormente analizado, generado desde las interpretaciones de las excavaciones arqueológicas, se desarrolló una nueva planimetría en formato CAD vectorial que permitiría posteriormente utilizarse como base para el modelado 3D (Fig. 5a). Con esta planimetría vectorial se elaboraron también las secciones arquitectónicas hipotéticas del edificio, así como las bases geométricas para los mosaicos de naturaleza geométrica que poseía la villa (Fig. 5b). Los primeros encajes volumétricos en la fase del modelado 3D sirvieron también para dar respuesta a cuestiones relacionadas con las alturas de las estancias y resolución de cubiertas del edificio.

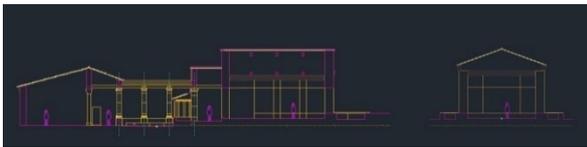
Para crear el modelado 3D se ha utilizado el software Autodesk 3D Studio Max 2023, y para la creación de texturas los programas Adobe Photoshop v. 22 y Adobe Substance 3D Painter v. 9 (Fig. 6).

En el proyecto se trabajó en la preparación de dos modelos diferentes de la recreación 3D, uno para el renderizado de infografías y panoramas 3D mediante el motor de render V-Ray 5 de Chaos Group y otro para su renderizado en el motor de renderizado Unreal Engine de Epic Games v. 5. Esta decisión se basó en el hecho de tener que generar contenidos digitales de alta calidad y panorámicos 360° (V-Ray) y secuencias 3D para un audiovisual (Unreal Engine), ya que éste está optimizado para el renderizado en tiempo real mediante una unidad de procesamiento gráfico (del inglés graphics processing unit, GPU) y el manejo de amplios entornos digitales con vegetación implementada. Esto hizo posible que los tiempos de producción y de renderizado del audiovisual 3D se redujesen notablemente.

La utilización del renderizado Unreal Engine ha sido aplicado con éxito en el yacimiento arqueológico de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz, España), tanto a nivel científico como de transferencia, obteniendo resultados con un comportamiento muy cercano a la realidad (Rodríguez, Casals & Celestino, 2023).

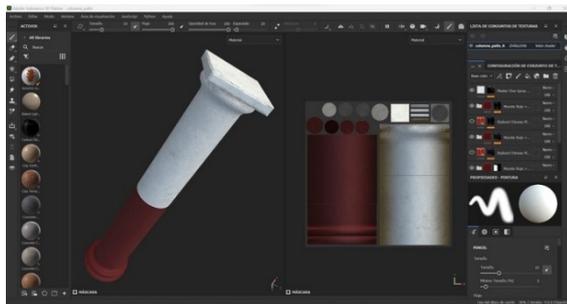


(a)

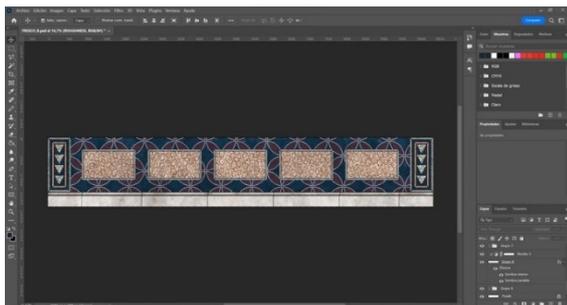


(b)

Figura 5: a) Planimetría CAD de la villa romana de Salar con la restitución de la base geométrica de los mosaicos; b) Sección arquitectónica hipotética del edificio.



(a)



(b)

Figura 6: a) Fases de modelado. b) Creación de texturas.



(a)



(b)

Figura 7: Panoramas 360° comparados: a) estado actual; b) estado hipotético 3D.

También se han realizado panoramas fotográficos 360° de los espacios más emblemáticos de la villa y que también pudieran suponer un interés en su estado recreado 3D. De este modo, cada panorama fotográfico del estado actual posee su análogo hipotético 3D, haciendo que los usuarios puedan visualizar rápida y fácilmente los cambios entre los dos estados presentados (Fig. 7).

A todos estos contenidos digitales desarrollados en el proyecto se puede llegar a través de una web que permite acceder a la información, tanto desde dispositivos móviles como ordenadores de sobremesa, haciendo que se aumente el impacto en la difusión de los recursos creados y sirviendo como herramienta interpretativa *in situ* para los visitantes del yacimiento.

4. La recreación virtual de la villa: diálogo entre arqueología y arquitectura

El primer ambiente que analizamos es el propio acceso a la villa a través del *vestibulum*, un amplio espacio de recibimiento y distribución, del que conocemos su conexión con el *ambulacrum* occidental solado con el mosaico de temática cinegética. La comunicación entre ambos se realiza a través de un acceso tripartito constituido por las dos columnas citadas. Este ámbito ha sido sólo parcialmente excavado, pero podemos reconstruir la composición geométrica octogonal de su pavimento musivo gracias a los paralelos compositivos de otros teselados béticos como es el caso del mosaico del Nacimiento de Venus de Cártama (Baili, 1981).

Pasando el *vestibulum*, accedemos al peristilo, espacio neurálgico de la villa que actúa como ambiente de distribución y acceso al resto de las estancias. Se conforma como un patio porticado de forma cuadrangular, de aproximadamente 8 m de lado, con cuatro columnas en cada uno de sus laterales. Los fustes se apoyan sobre basas situadas en plintos con una

estructura de toro, escocia y bocel o toro, conservando una altura que alcanza los 0.47 m. El espacio central del peristilo o *viridarium* está rodeado de cuatro pasillos o *ambulacra*, de los que está separado por un pretil bajo que se adosa a las columnas conservadas. El peristilo se configura en dos alturas, estando el ambulacro oriental sobreelevado por dos escalones. Los motivos decorativos de los mosaicos muestran diversas escenas figuradas con motivos marinos y cinegéticos (Neira, Román Punzón, Moreno Alcaide, Ruiz Montes, Ramos Noguera & Fernández García, 2024), así como motivos geométricos. Estos mosaicos, contruidos durante el siglo IV d.C., fueron ampliamente reformados a inicios del siglo V d.C., por lo que en la reconstrucción debimos seleccionar qué período queríamos mostrar. Para ello, y especialmente en el mosaico que sola el ambulacro oriental con motivo de un *thiasos* marino, se decidió reconstruir la forma geométrica del pavimento del siglo IV d.C., dejando sin completar las lagunas y reformas del siglo V d.C. Para la decoración parietal se han utilizado como modelo los restos conservados *in situ* en varios muros de los *ambulacra* y los fragmentos recuperados durante las campañas de excavación.

El *viridarium* podía ser contemplado a través de un espacio absidiado, a modo de *diaeta*, enfrentado a la principal estancia de representación de la villa, el triclinio. Por desgracia, gran parte de éste se encuentra bajo el perfil actual de la excavación que separa las zonas A y B. Estaba flanqueado por dos columnas monumentales, formadas por tambores de 0.58 m de diámetro, sin basas, separadas entre sí por aproximadamente 3 m. Los restos conservados, y los paralelos ampliamente documentados (Hidalgo Prieto, 2016), permiten suponer su forma

completa, a partir del fragmento de mosaico que presenta un giro de 45° en la decoración de su orla, coincidiendo con la orientación de un pilar de pequeñas dimensiones que queda encajado en el perfil. El diámetro y módulo diferente de estas columnas permite suponer la existencia de un acceso monumentalizado al triclinio. El *viridarium*, circundado de canales para la recogida del agua de la techumbre de los ambulacros, sería un espacio verde provisto de juegos de agua. Este ambiente estaría también dotado de decoraciones escultóricas (Hartswick, 2018), como pudo ser el caso de la Venus de tipo Capitolina (Loza et al., 2021) (Fig. 8). Esta escultura fue objeto de una doble técnica de digitalización, tanto utilizando la fotogrametría como el escaneado láser para su integración en la infografía resultante.

Desde el peristilo se accedía al triclinio, el ambiente más destacado de los documentados hasta el momento, caracterizado como el gran espacio destinado a la recepción y al *convivium*. Se trata de una sala rectangular de aproximadamente 10 m por 6.90 m, con un pavimento en *opus tessellatum* policromo, de motivos geométricos, y un zócalo con placas marmóreas y *opus sectile* parietal. Dotada de grandes vanos, permitía contemplar el panorama circundante en el que destacaba el ninfeo-estanque que lo rodeaba por tres lados, con forma de U, recubierto de *signinum*, rematado en un ábside en la cabecera del mismo, desde donde recibía el agua a través de una pequeña cascada realizada artificialmente utilizando piedras provenientes de una cueva reforzando así su imagen de gruta natural, hogar de las ninfas (Fig. 9).



Figura 8: Peristilio y *viridarium*. Infografía obtenida mediante el motor de render V-Ray (modelo utilizado para infografías estáticas y panoramas 3D de alta calidad).



Figura 9: Infografía del estanque que bordea el triclinio.

Aparte de los ambientes descritos, conocemos, al menos, 5 espacios más en la villa que se distribuyen en torno al peristilo. Entre ellos resaltamos la sala situada en el lateral meridional, sin acceso conocido por el momento debido nuevamente al perfil de la excavación. Esta sala destaca por el sistema constructivo de su cubierta realizado a partir de tubos cerámicos, llamados *tubi fittili* (Moreno Alcaide, Román Punzón & Ruiz Montes, 2019). Dada la importancia de esta técnica constructiva y al excepcional estado de conservación, preservándose incluso la clave de la bóveda, hemos propuesto una hipótesis reconstructiva muy aproximada a su técnica de ejecución, visible dentro del audiovisual 3D (<https://www.youtube.com/watch?v=3Nt0F-J00Qc>).

Para la realización de este audiovisual se utilizó el render Unreal Engine generando un modelo optimizado y utilizado en la producción de secuencias 3D. Para ello, se tuvieron que resolver algunas problemáticas referentes al entorno natural y los límites estructurales de la villa. Para ello, recreamos el medio ambiente a partir de la realización de un vuelo con un vehículo aéreo no tripulado (VANT) realizado por la empresa “Desde el aire. Video y fotografía aérea”. Con ello, conseguimos un modelo digital del terreno y tomas fotográficas.

5. Resultados

La combinación de técnicas digitales aplicadas a la excavación y posterior recreación virtual de la villa romana de Salar ha demostrado ser una herramienta útil para conseguir los objetivos diseñados tanto a nivel de investigación, como de divulgación y puesta en valor. En

este sentido, el resultado principal de todo este trabajo se manifiesta en la creación y publicación de la web <https://www.villaromanasalar3d.com>, un dominio de acceso público.

Las personas que visitan la página web acceden, en primer lugar, a panoramas 360° del estado actual de la excavación, comenzando desde el triclinio. La interfaz permite elegir, en la parte superior derecha, entre esta vista actual de las excavaciones y la recreación 3D. Esta elección de vistas posibilita una mayor y mejor comprensión de los espacios reconstruidos, ya que, desde un punto de vista análogo, se pueden apreciar ambas visiones.

Desde la visión reconstruida del triclinio, se puede contemplar tanto el interior de la estancia, con el mosaico completado, como el exterior de la villa a través de los grandes ventanales de los que disponía, observando la naturaleza circundante, el estanque y el ninfeo con cascada. Esta opción hace que la visita virtual sea más inmersiva, permitiendo al espectador adentrarse en la sensación que produce el reflejo de la luz, evocando el sonido del agua y apreciando su lujosa decoración con mármol parietal. Además, en la opción de vista actual, al pasar el cursor sobre algunos de los elementos estructurales más destacados, se somborean con un color diferenciado, y al seleccionarlos aparece sobre ellos información sobre su cronología, para así poder hacer más comprensibles las diferentes fases edilicias y constructivas de la villa.

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DIGITALES PARA LA RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA VILLA ROMANA DE SALAR (GRANADA, ESPAÑA): UN EJEMPLO DE TRANSFERENCIA DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO

Desde el triclinio se puede pasar, clicando sobre unas flechas de dirección, al ambulacro oriental pavimentado con el mosaico de tema marino. Estas flechas nos permiten movernos por los diferentes entornos. Antes, de acceder a cada uno de los ambientes, aparece un cuadro de información sobre el espacio que se va a visitar, junto a una fotogrametría de la intervención arqueológica. Desde esta posición, la vista de la recreación 3D permite al visitante comprender la extensión y magnitud del peristilo que, en el estado actual de la excavación, no es posible ya que está separado en las Zonas A y B por un gran perfil de tierra que sostiene la cubierta.

El peristilo puede ser atravesado tanto por los pasillos septentrional como meridional hasta llegar al occidental, solado con el mosaico de la cacería. Este ambulacro se puede observar desde diferentes posiciones, destacando la central, seleccionada como panorama fundamental al situar al visitante en el eje de axialidad de la *pars urbana*, alineado con el acceso tripartito de la entrada. Desde aquí, en la visión de la recreación 3D se comprende, como no es posible hacerlo en el estado actual, la magnificencia de la villa. En el mismo panorama visual se ve, en primer lugar, el imponente mosaico cinético, de más de 15 m de extensión, tras él, el *viridarium* presidido por la escultura de la Venus de tipo Capitolina que apareció en las inmediaciones. Tras ella, el jardín, la *dieta* y el acceso monumentalizado al triclinio sobreellevado respecto al resto de las estancias. Esta sería la visión que tendrían los antiguos visitantes que acudiesen a la villa para ser recibidos por el *dominus* en el triclinio. Una construcción arquitectónica perfectamente planificada para expresar poder y *luxuria*, basada en la simetría, el control de la naturaleza, la vegetación y el agua, acompañada de un rico programa decorativo manifestado en los pavimentos musivos, la pintura mural, el uso del mármol y el empleo de un meditado conjunto escultórico, que no hacían más que reflejar el elevado *status* del propietario, vinculado a los conceptos romanos de *otium* y *luxuria*, propias de este momento.

Finalmente, el tour virtual permite pasar a través de una hipotética puerta que estaría situada bajo el perfil de la excavación, accediendo a la sala cubierta con la bóveda de tubos cerámicos que, al interior, estaba revestida de mortero y pintada de color azul. Por su posición y distribución planimétrica se trataría de un espacio reservado, alejado de la visión directa desde el peristilo.

Junto a las vistas actual y la recreación, es posible consultar, en la parte inferior de la interfaz, información sobre el contexto y periodización de las fases históricas de la villa, así como la localización del yacimiento arqueológico en el término municipal de Salar con información sobre sus horarios de visita, contacto y reservas. Igualmente, se incluye la posibilidad de abrir una ventana sobre la planimetría de la villa con el posicionamiento de los panoramas 360° con indicación de la dirección exacta de la visión.

Dentro de esta web destacamos la opción de visualización de un audiovisual y de una selección de infografías 3D. El audiovisual, de una duración de 7:30 minutos, realizado con el motor de render Unreal Engine, incluye una locución que explica la cronología, fases y espacios de la villa, alternando vistas del estado actual de la excavación con la recreación virtual, así como las reconstrucciones virtuales de las esculturas y la explicación de la particular técnica constructiva de la sala

abovedada (Fig. 10). Por otro lado, se han seleccionado 12 infografías de la recreación 3D que muestran vistas destacadas desde diferentes ángulos y la sección del eje axial. La realización de infografías 3D, testada en diferentes proyectos (López-Fraile, 2007), ha demostrado una gran utilidad en su inclusión como señalética.

La web ha sido, además, implementada para su consulta desde dispositivos móviles y teléfonos móviles (Fig. 11) permitiendo ser utilizada mientras se realizan las visitas presenciales al yacimiento arqueológico.



Figura 10: Modelo optimizado y utilizado en la producción de secuencias 3D para audiovisual realizado con el motor de render Unreal Engine.

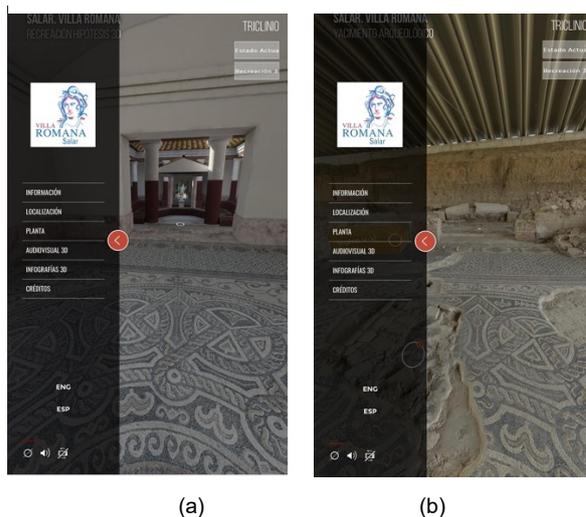


Figura 11: a) Visión de la recreación virtual; b) Visión del estado actual desde un teléfono móvil.

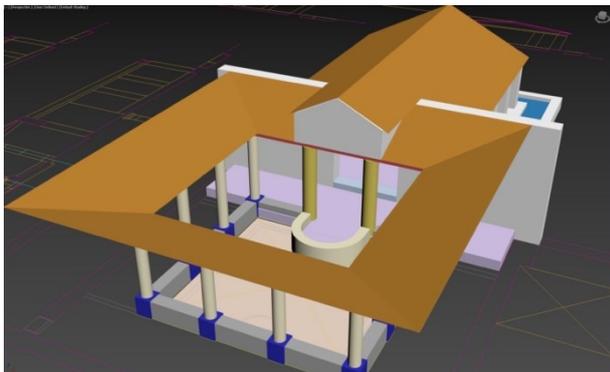
6. Discusión

Por una parte, la aplicación de la metodología desarrollada específicamente para la villa romana de Salar ha permitido generar una rutina de trabajo que puede ser exportada al resto de las estructuras documentadas en la misma. En este sentido, la experiencia de la aplicación de la tecnología de renderizado en tiempo real a otros yacimientos nos ha permitido corroborar los beneficios y posibilidades que ofrecen los motores de videojuegos, en este caso Unreal Engine, para su aplicación al patrimonio arqueológico. El empleo de este método de trabajo en el yacimiento arqueológico de Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz) (Rodríguez, Casals & Celestino, 2023) ya manifestó las ventajas que ofrecen los motores de renderizado en tiempo real, alcanzando óptimos resultados invirtiendo una menor cantidad de tiempo, así como la posibilidad de interactuar con los entornos.

Por otra parte, algunos de los trabajos actuales están empleando la representación gráfica del grado de evidencia histórico-arqueológica (Aparicio-Resco, García Álvarez-Busto, Muñiz-López, & Fernández-Calderón, 2021). En el caso de la villa romana de Salar no se ha realizado ya que la experiencia permite interactuar entre los restos materiales y la hipótesis de su restitución.

En este sentido, uno de los primeros aspectos para tener en cuenta, y que suponía un elemento fundamental para la recreación virtual de la villa, era determinar la altura de los alzados. Para solventarlo se realizó un profundo estudio de arqueología de la arquitectura teniendo presente el grosor y módulo de los muros, su técnica constructiva y su ubicación en la planimetría de la villa. Así pudimos diferenciar entre muros de carga perimetrales, muros de división interna y estructuras portantes (Fig. 12).

La presencia de diversas bases y fustes de columnas, con diferentes diámetros, nos permitía acercarnos a la elevación real de los volúmenes de los espacios centrales de la villa, como la entrada o el peristilo. En este sentido, la presencia de dos columnas con fustes monolíticos caídas sobre el pavimento musivo del ambulacro occidental nos permitía confirmar con mayor precisión la altura de estos espacios. El fuste caído en el lado izquierdo, que estaba completo, tiene una altura de 2.90 m. En este sentido, es muy interesante observar cómo podría adaptarse a la medida del pie romano de 0.29 m, lo que equivaldría a una altura para el fuste de 10 pies, a los que debemos sumar la basa y el capitel (Fig. 13).



(a)



(b)

Figura 12: a) Encajes volumétricos;
b) desarrollo del modelado 3D.

7. Conclusiones

La recreación virtual de la villa romana de Salar ha partido de una rigurosa investigación arqueológica, donde la aplicación de las técnicas digitales ha sido empleada para la consecución de los objetivos de conocimiento histórico expresados en el Proyecto General de Investigación del que es objeto.

Por un lado, la implementación de las técnicas digitales aplicadas al proceso de documentación arqueológica ha demostrado ser de gran utilidad, permitiendo una mayor precisión con un considerable ahorro de tiempo. Por otro lado, la recreación virtual, basada en rigurosos principios históricos (López-Mencheró, 2013) y surgida del diálogo interdisciplinar, ha permitido crear un modelo de alto rigor científico.

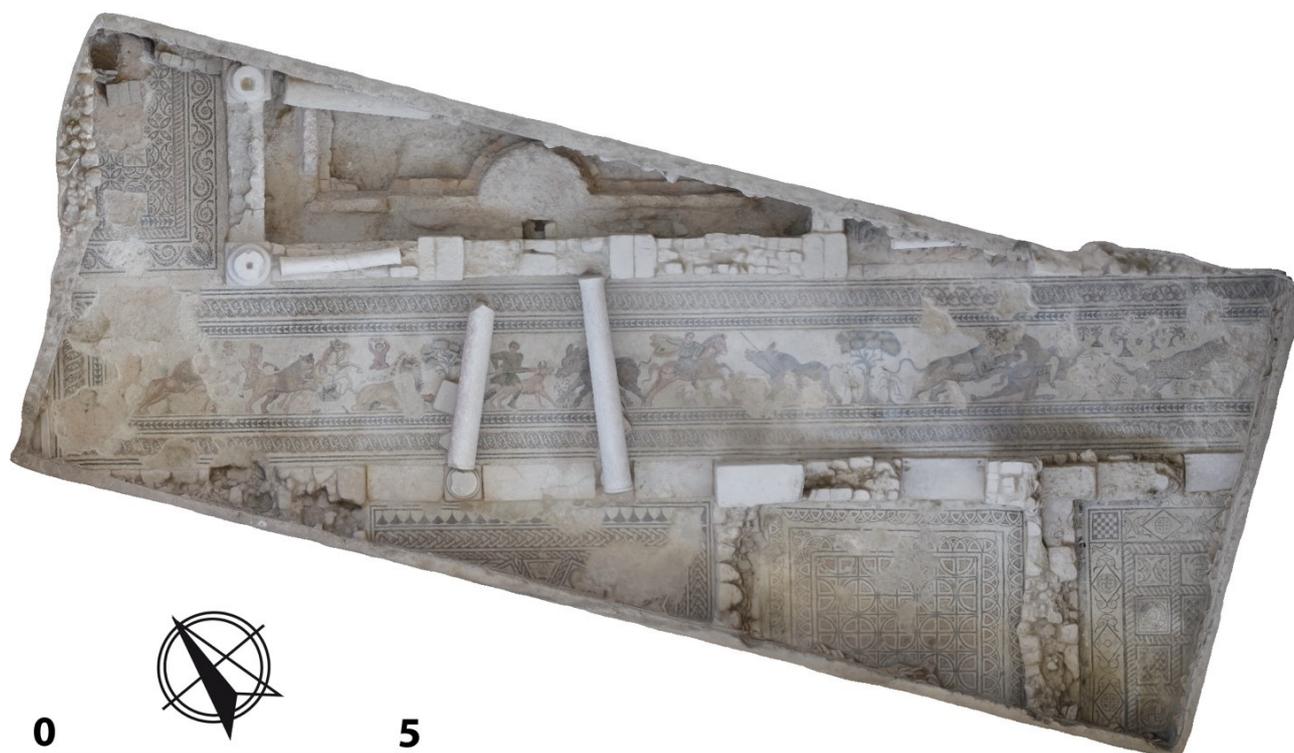
La publicación de la web <https://www.villaromanasalar3d.com> se ha convertido en la mejor herramienta de divulgación y puesta en valor de este yacimiento arqueológico. Sólo la visualización del audiovisual en YouTube alcanza casi las 8300 visitas. Además, la experiencia presencial de los visitantes a la villa se ha enriquecido, propiciando un aumento considerable de las visitas desde su publicación, con una elevada valoración de los usuarios.

Todo ello repercute directamente en el municipio de Salar, que ha convertido a la villa romana en uno de sus principales motores económicos, generando empleo y, por tanto, fijando a las personas al territorio. Desde 2016 se ha producido un notable aumento del número de visitantes, no sólo a la villa romana, sino al propio municipio. La participación ciudadana se ha convertido en uno de los aspectos esenciales del proyecto generando un sentimiento identitario y de protección del patrimonio entre la ciudadanía salareña, lo que ha llevado, además, a una mejora de la imagen pública de Salar, por su contribución al desarrollo económico del municipio.

En síntesis, consideramos que el proyecto de investigación de la villa romana de Salar se ha convertido en un ejemplo de transferencia del patrimonio arqueológico a la sociedad actuando desde la investigación, la conservación y la puesta en valor.

Agradecimientos

Este trabajo tuvo su origen en un trabajo promovido por la Delegación Territorial de Cultura y Patrimonio Histórico de la Junta de Andalucía en Granada, en colaboración con la empresa especializada en visualización 3D Ideosmedia Estudio Creativo, y con el asesoramiento científico del Proyecto General de Investigación denominado "Investigación, conservación y puesta en valor de la villa romana de Salar (Granada), 2019-2023", objeto de un convenio firmado entre la Universidad de Granada y el Ayuntamiento de Salar. Este trabajo es el resultado de una estancia de investigación, concedida a Manuel Moreno Alcaide, en Sapienza, Università di Roma (Italia), con una beca de estancia "José Castillejo para jóvenes doctores", del Ministerio de Universidades (España), durante los meses de enero/marzo de 2024.



(a)



(b)

Figura 13: a) Ortofotografía del ambulacro occidental con las columnas caídas. b) Modelado y restitución de las columnas.

Referencias

- Andreu, J., Ibero, I., & Serrano, P. (2022). Valetе vos viatore! Videogamificando la ciudad romana de Los Bañales de Uncastillo. In J. I. Lorenzo & J. M. Rodanéz (Coord.), *Actas del IV Congreso de Arqueología y Patrimonio Aragonés (CAPA)* (pp. 555-574). Zaragoza: Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias de Aragón.
- Aparicio-Resco, P., García Álvarez-Busto, A., Muñiz-López, I., & Fernández-Calderón, N. (2021). 3D virtual reconstruction of the Gauzón Castle (Castrillón, Principado de Asturias). *Virtual Archaeology Review*, 12(25), 158–176. <https://doi.org/10.4995/var.2021.14940>
- Balil, A. (1981). Mosaico de Cártama, Afrodita en la Concha. *Arqueología de Andalucía Oriental. Siete Estudios*, 93-101.

- Cáceres-Criado, I., Triviño-Tarradas, P., Valderrama-Zafra, J. M., & García-Molina, D. F. (2022). Digital preservation and virtual 3D reconstruction of "The Baker's house" in the archaeological site of Torreparedones (Baena, Cordoba-Spain). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 24, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2022.e00218>
- Camarero, L., Cruz, F., González, M., Del Pino, J., Oliva, J., & Sampedro, R. (2009). *The rural population in Spain from disequilibrium to social sustainability. Social Studies Collection*, 27. Barcelona: La Caixa Foundation.
- Chapinal-Heras, D., Díaz-Sánchez, C., Gómez-García, N., España-Chamorro, S., Pagola-Sánchez, L., Parada López de Corselas, M., & Elías Rey-Álvarez Zafiria, M. (2024). Photogrammetry, 3D modelling and printing: The creation of a collection of archaeological and epigraphical materials at the university. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 33, e00341. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00341>
- Charquero Ballester, A. (2016): Prácticas y usos de la fotogrametría digital en arqueología. *Dama. Documentos de Arqueología y Patrimonio Histórico*, 1, 139-157.
- Dell'Unto, N., Landeschi, G., Apel, J., & Poggi, G. (2017). 4D recording at the trowel's edge: using three-dimensional simulation platforms to support field interpretation. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 12, 632-645. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.03.011>
- Ferdani, D., Fanini, B., Piccioli, M. C., Carboni, F., & Vigliarolo, P. (2020). 3D reconstruction and validation of historical background for immersive VR applications and games: the case study of the Forum of Augustus in Rome. *Journal of Cultural Heritage*, 43, 129-143. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.12.004>
- Gisbert Santaballa, A. G. (2019). La arqueología virtual como herramienta didáctica y motivadora. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 13, 119-147. <https://doi.org/10.51302/tce.2019.287>
- González Ballesteros, J. A., Gómez Carrasco, J. G., Hernández Robles, A., & Eiroa Rodríguez, J. A. (2023). 3D modelling of archaeological structures and deposits as a method of documentation and dissemination: the case of San Esteban Archaeological Site (Murcia, Spain). *Virtual Archaeology Review*, 14(29), 84–98. <https://doi.org/10.4995/var.2023.18956>
- Hartswick, K. J. (2018). Sculpture in ancient Roman Gardens. In W. F. Jashemski, K. L. Hleason, K. L. Hartswick, & A. A. Malek (Eds.), *Gardens of the Roman Empire* (pp. 341-365). Cambridge: Cambridge University Press.
- Hidalgo Prieto, R. (2016). Arquitectura residencial y representativa. In R. Hidalgo Prieto (Coord.), *Las villas romanas de la Bética*, (pp. 175-248), I. Sevilla: Editorial Universidad de Sevilla.
- Kordel, S., Weidinger, T., & Jelen, I. (2018). *Processes of Immigration in Rural Europe*. Cambridge Scholars Publishing.
- López Fraile, F. J. (2007). La infografía 3D como sistema de documentación y divulgación. In J. Morín (Ed.), *Proceedings of the Primer Simposio de la Investigación y Difusión Arqueopaleontológica en el Marco de la Iniciativa Privada* (Guadalajara, Spain, 2007) (pp. 429–444). Madrid: Editores de Energía y Medio Ambiente.
- López-Menchero, V. M. (2013). International Guidelines for Virtual Archaeology: The Seville Principles. In C. Corsi, B. Slapšak & F. Vermeulen (Eds.), *Good Practice in Archaeological Diagnostics: Non-invasive Survey of Complex Archaeological Sites* (pp. 269–283). Springer International Publishing Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01784-6_16
- López-Menchero, V. M., & Grande, A. (2011). Hacia una carta internacional de Arqueología virtual. *El Borrador SEAV. Virtual Archaeology Review*, 2(4), 71–75. <https://doi.org/10.4995/var.2011.4558>
- López-Mozo, A., Rabasa-Díaz, E., Calvo-López, J., Alonso-Rodríguez, M. A., & Sanjurjo-Álvarez, A. (2022). Geometry and Actual Construction in Brick Vaults by Slices: The Case of Carranque in Spain. *Nexus Network Journal*, 24, 641–655. <https://doi.org/10.1007/s00004-022-00601-3>
- López Sánchez, A., & Bermejo Meléndez, J. (2023). New technologies applied to the archaeological heritage of the city of Arucci (Aroche, Huelva): The experience of the Casa de Peristilo. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 31, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2023.e00299>
- Loza Azuaga, M. L., Beltrán Fortes, J., Román Punzón, J. M., Ruiz Montes, P., Moreno Alcaide, M., & Fernández García, M. I. (2021). La villa romana de Salar (Granada). El programa escultórico en contexto arqueológico. *Archivo Español de Arqueología*, 94, e20. <https://doi.org/10.3989/aespa.094.021.20>
- Maldonado, A. (2020). *La aplicación de la Fotogrametría (SFM) y las Nuevas Tecnologías para la mejora de la documentación, difusión y divulgación del patrimonio arqueológico*. Universidad de Granada.
- Moreno Alcaide, M., Román Punzón, J.M. & Ruiz Montes, P. (2019). El uso de *tubi fittili* para cubiertas abovedadas en la *Hispania* romana. Revisión bibliográfica y estado de la cuestión. *Spal*, 28.1, 131-156.

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DIGITALES PARA LA RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DE LA VILLA ROMANA DE SALAR (GRANADA, ESPAÑA): UN EJEMPLO DE TRANSFERENCIA DEL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO

- Neira Jiménez, L., Román Punzón, J. M., Moreno Alcaide, M., Ruiz Montes, P., Ramos Noguera, J., & Fernández García, M. I. (2024). Acerca del pavimento con la representación de una nereida en la villa romana de Salar (Granada) en el conventus Astigitanus. *Mosaïque en contexte*, 203-214.
- Rodríguez González, E., Casals Ausió, J. R., & Celestino Pérez, S. (2023). Application of real-time rendering technology to archaeological heritage virtual reconstruction: the example of Casas del Turuñuelo (Guareña, Badajoz, Spain). *Virtual Archaeology Review*, 14(28), 38–53. <https://doi.org/10.4995/var.2023.17460>
- Rodríguez-Hernández, J., Álvarez-Sanchís, J. R., Aparicio-Resco, P., Maté-González, M. Ángel, & Ruiz-Zapatero, G. (2021). Reconstrucción virtual en 3D del “Torreón” del oppidum de Ulaca (Solosancho, Ávila): mucho más que una imagen. *Arqueología de la Arquitectura*, 18, e123. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2021.015>
- Román Punzón, J., Moreno-Alcaide, M., Ruiz Montes, P., & Ramos Noguera, J. (2018). La importancia de la investigación, conservación y puesta en valor del patrimonio histórico local: el ejemplo de la villa romana de Salar (Granada). *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 28, 233-257. <https://doi.org/10.30827/cpag.v28i0.8485>
- Román Punzón, J., Moreno-Alcaide, M., Ruiz Montes, P., Ramos Noguera, J., & Peralta Gómez, A. (2022). Life and afterlife of a Roman villa in western Granada, Spain: Salar from the 4th to the 7th centuries. *European Journal of Post-Classical Archaeologies (PCA)*, 12, 107-134.
- Rosa Henestrosa, Á., Román Punzón, J., Moreno-Alcaide, M., & Ruiz Montes, P. (2022). Implementación de técnicas digitales para la documentación arqueológica en la villa romana de Salar (Granada). *Vegueta. Anuario de la Facultad de Geografía e Historia*, 22(1), 113-136. <https://doi.org/10.51349/veg.2022.1.07>
- Valero Tévar, M. Á., & Huete Alcocer, N. (2016). La aplicación de nuevas tecnologías en la documentación arqueológica de la villa romana de Noheda y su proyección turística digital. *8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation*, (pp. 220-230). Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/arqueologica8.2015.3998>